



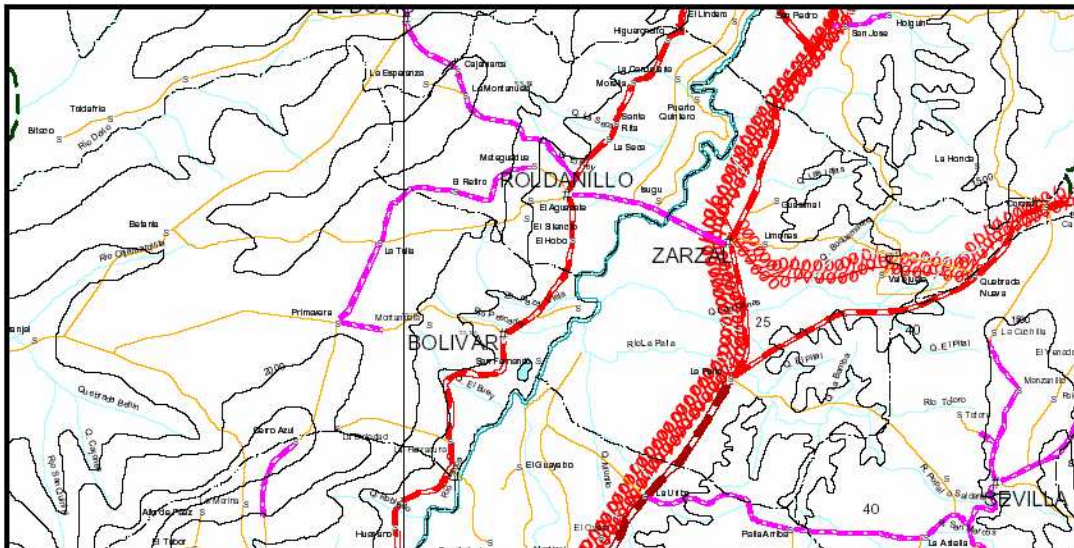
Instituto Colombiano para el Desarrollo de la
Ciencia y la Tecnología
Francisco José de Caldas.
COLCIENCIAS



Centro Colombiano de Tecnologías del Transporte
CCTT



Grupo de Investigación en Transporte, Tránsito y Vías
GITT
Universidad del Valle



**PROYECTO “OBSERVATORIO NACIONAL DEL TRANSPORTE
FASE 1: VALLE DEL CAUCA”**

**MATRIZ DE TRANSPORTE
Reconocimiento y Propuesta Preliminar de Estructura**

Preparado por:
Ciro Jaramillo Molina
Jackeline Murillo Hoyos

Cali, Febrero de 2006

TABLA DE CONTENIDO

LISTADO DE FIGURAS	3
LISTADO DE TABLAS	3
RESUMEN.....	4
0. INTRODUCCIÓN.....	5
1. ANTECEDENTES	7
2. OBJETIVOS.....	10
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3. METODOLOGÍAS RECONOCIDAS	11
3.1 LA ASIGNACIÓN POR MODO DE TRANSPORTE	11
3.2 LA ASIGNACIÓN POR PRODUCTO E ÍNTER MODALIDAD.....	12
4. CONTEXTO TEÓRICO	16
5. ESTRUCTURA DE LA METODOLOGÍA SELECCIONADA.....	19
6. RECOMENDACIONES.....	25
7. CONCLUSIONES.....	27
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.	Estructura del Sistema de Transporte	6
Figura 2.	Matriz de Transporte del Brasil del 2000	11
Figura 3.	Matrices de transporte del 2003, sin considerar el transporte por ducto o aéreo	12
Figura 4.	Porción de la red ferroviaria mexicana con flujos de carga mayores a 10.000 toneladas	13
Figura 5.	Participación de las categorías de productos en el total de toneladas movilizadas proyecto Estrasur	15
Figura 6.	Modelo de transporte íter modal	21
Figura 7.	Terminales íter modales en operación	21
Figura 8.	Modelo de red íter modal en STAN	22
Figura 9.	Pares O-D Flujo mayor a 5000 ton diarias	23
Figura 10.	Flujos diarios de carga en las líneas propuestas	24

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.	Asignación multiproducto en México.	14
-----------------	-------------------------------------	----

RESUMEN

El presente documento inicialmente plantea la conceptualización básica relacionada con el proceso de planificación del transporte, los elementos, estrategias y escenarios planteados para la toma de decisiones por parte de las instancias del gobierno bajo la cual esta la responsabilidad de proporcionar elementos para que las infraestructuras puedan satisfacer los requerimientos de la demanda de transporte en una región determinada.

Mas adelante se establece la importancia que tiene el sistema de transporte en el sector productivo de una región, se menciona la participación del transporte dentro de la cadena productiva del sector económico local y el impacto que posee el abastecimiento de insumos y la distribución de elementos producidos, representando de forma integral un aspecto sustancial en la competitividad de la región.

Después se revisó literatura especializada en diversas fuentes de Latinoamérica y se recogieron experiencias de países como Brasil, Chile y México, las cuales se enmarcan en los instrumentos conocidos como Matriz de Transporte, el cual se puntualizó en dos matices; el primero desde la perspectiva del reparto modal de la carga movilizada y el segundo desde el punto de vista del producto pero recogiendo el concepto de ínter modalidad.

Se hizo una descripción breve de los conceptos básicos incluidos en el proceso de planificación, y en particular se describió lo relacionado con el modelo conocido como el modelo secuencial de las cuatro etapas: generación, distribución, reparto modal y asignación de viajes.

Se relaciona paso a paso el proceso metodológico del caso de estudio seleccionado como el más ajustado a lo que se desea en el marco del proyecto del observatorio, es decir, un instrumento de apoyo a la labor de conocer los pormenores de la actividad transporte en el pasado, presente y futuro con una perspectiva multiproducto-ínter modal.

En la parte final se analiza la metodología mencionada y se proponen elementos a ser tenidos en cuenta dentro de la aplicación de la metodología en el Valle del Cauca, haciendo la salvedad de no perseguir los alcances del trabajo estudiado en detalle, esto es debido a que la información propuesta en el alcance del observatorio no es suficiente para tal fin por el momento, sin embargo se plantea el dejar una primera etapa sólida, para luego, de ser posible, afinar y extender los alcances del modelo construido.

0. INTRODUCCIÓN

La planeación del transporte tiene como objetivo básico la utilización óptima de la infraestructura vial y de los medios de transporte disponibles para hacer frente de manera eficaz a la demanda de transporte de una región. Asimismo, en esta disciplina se deben anticipar los cambios que se presentarán en la demanda de transporte como consecuencia de modificaciones en el sistema¹.

La planeación, más que el desarrollo de un plan, es un proceso integrado. Un plan, más que nada, es el documento de referencia de este proceso en un instante determinado. El proceso de planeación es esencialmente la generación de información sobre alternativas de acciones y sus posibles efectos. El problema de pensar en el futuro, es tratado a través de escenarios. Los escenarios son alternativas de posibilidades de ocurrencias en el futuro por la incertidumbre total que se tiene en cuanto a la previsión de las variables que intervienen en el problema. La adición de escenarios en el análisis puede ayudar a proveer información adicional con previsiones de tipo optimista, probable y pesimista, pero no elimina la incertidumbre que involucra el prever el futuro. Es necesario enfatizar que la incertidumbre va a existir siempre, lo que se busca es disminuirla.

En todos los casos se va a ofrecer a los organismos de decisión, alternativas de acción con la información técnica y la evaluación de sus impactos sociales, económicos y ambientales. La elaboración de alternativas debe ser el reflejo de una política bien definida para el sector de transporte urbano y de estrategias de solución de los problemas. La elaboración de políticas y estrategias es una tarea técnica que debe considerar los programas de gobierno y los objetivos para el sector. Esto no quiere decir que no se puedan cambiar los programas, sino que se tiene que justificar que los cambios son para mejorar².

En este sentido, el sistema de transporte normalmente afectará la manera en que el sistema socioeconómico crece y cambia. Asimismo, los cambios en el sistema socioeconómico harán necesarias ciertas modificaciones al sistema de transporte. Esta interrelación es fundamental para el análisis de los sistemas de transporte³. Ver figura 1.

¹ Cal y Mayor Asociados (1998). Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y transporte. Tomo I, Marco conceptual. Secretaría de Tránsito y Transporte de Santa Fe de Bogotá D.C. Colombia.

² SEDESOL-Secretaría de Desarrollo Social (2000). Manual de Conceptos y Lineamientos para la Planeación del Transporte Urbano. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio. México

³ Cal y Mayor Asociados (1998). Op Cit.

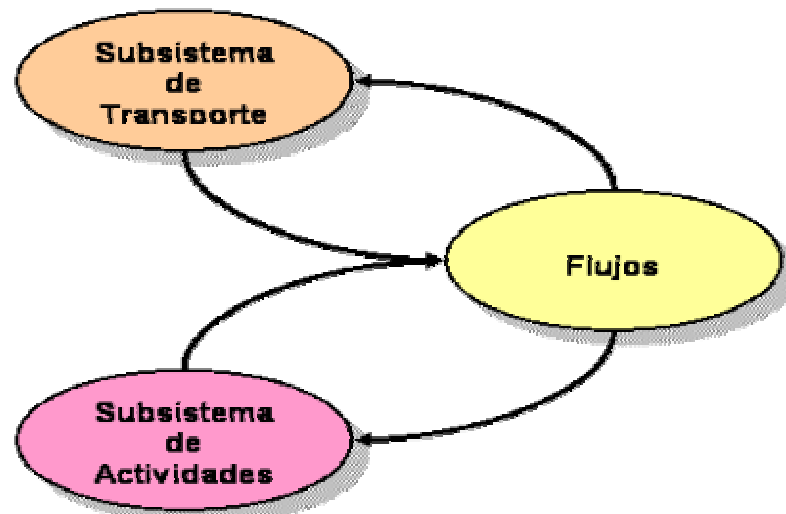


Figura 1. Estructura del Sistema de Transporte⁴

La eficiencia de cualquier sector productivo de un país suele valuarse en términos de parámetros que relacionan la inversión de recursos en la prestación del bien o servicio de que se trate y el resultado obtenido; el costo es la expresión típica de la inversión de recursos, de tal manera que es frecuente que la productividad se mida en términos de costo por unidad producida. En el caso del transporte de carga, el producto es cada tonelada-kilómetro transportada, con ciertas características de calidad de servicio relacionadas con el tiempo de viaje, seguridad, confiabilidad, tarifa, bienestar de la carga, cobertura espacial, etc.

En los países desarrollados, a diferencia de los del tercer mundo, la infraestructura del transporte ha evolucionado de acuerdo con las necesidades presentes y futuras; es decir, la oferta se ha ajustado a los requerimientos de la demanda. Por el contrario, en los países en vías de desarrollo existe una infraestructura de transporte deficiente, insuficiente y mal distribuida a lo largo del territorio, por lo que suele no satisfacer las necesidades de demanda.⁵

⁴ Manheim. M. (1979). Fundamentals of Transportation Systems Analysis, Volume 1: Basic Concepts. MIT Press. Estados Unidos de América. En: Cal y Mayor Asociados (2005).

⁵ Centeno. A y Mendoza A. (2003). Modelo de asignación inter modal multiproducto para las operaciones de carga por auto transporte y ferrocarril. Instituto Mexicano del Transporte. Secretaria de Comunicaciones y Transporte. México.

1. ANTECEDENTES

Dentro de la planificación del transporte y en especial de carga, se ha reconocido una herramienta o instrumento que se utiliza para identificar la participación o impacto que tiene un determinado modo de transporte dentro de la distribución de mercancías en un contexto económico regional.

Uno de esos casos, es la Matriz de Transporte Ínter modal⁶, en este contexto, al considerarse la construcción del Observatorio Nacional del Transporte, Fase 1: Valle del Cauca se involucró el planteamiento de identificar aspectos estructurantes, metodologías, indicadores y demás características necesarias para la implementación de este instrumento dentro del marco del observatorio mencionado.

El desarrollo económico y productivo de una región tiene estrecha relación con la infraestructura de transporte. Una adecuada infraestructura en transporte permite mejorar los niveles de producción de las empresas como consecuencia de reducción de costos de logística, ahorros de inventario y permitir el acceso a mayores mercados de insumos y mano de obra. La competitividad de una región involucra aspectos de su economía y de otras disciplinas como las sociales⁷.

Las exportaciones en los países latinoamericanos se basan en productos de bajo valor en comparación con su peso, los que los países importadores frecuentemente pueden adquirir en otras partes, donde la eficiencia de los sistemas de transporte cumple un papel absolutamente crítico. Por ejemplo, los costos del transporte terrestre de productos a granel en América Latina son frecuentemente altos por la inexistencia de medios fluviales o ferroviarios, que pudieran ofrecer fletes inferiores a los camioneros⁸.

Las inversiones en infraestructura y el desarrollo económico de las regiones están relacionadas por el impacto sobre los costos productivos y tienen la capacidad de hacer más eficientes las cadenas de provisión de insumos, de almacenamiento y de distribución, aumentando la productividad de los factores, el bienestar de la población, y la competitividad. Pero, lejos de suponer una relación automática entre las inversiones en infraestructura y el

⁶ Jiménez, G. et al. (2004). Programa Estratégico de Transporte Ínter modal y Logística para el Valle del Cauca 2015. Primer Foro Regional de Transporte Ínter modal y Logística del Valle del Cauca - Diagnóstico y Perspectiva. Centro Colombiano de Tecnologías del Transporte – CCTT. Colombia

⁷ Thomas, A y Molina D. (2004). La planificación del transporte y su incidencia en la competitividad de las ciudades. Boletín FAL No.212, Abril. Unidad de Transporte. CEPAL/ONU. Chile.

⁸ CEPAL/ONU (2004). Infraestructura, transporte e integración: la relación con el desarrollo productivo y la competitividad regional. Boletín FAL No.211, Marzo, Unidad de Transporte. Chile

desarrollo económico, la literatura económica tiende a tomarlas como una condición necesaria, pero no suficiente, y el grado del impacto dependerá de su articulación con otras variables, tales como el capital humano, los recursos naturales, el acceso al financiamiento y la tecnología, etc.

También es probable que las inversiones en infraestructura influyan en el perfil productivo del área, especialmente en regiones de producción básica, en la que generalmente la elasticidad precio de la demanda de transporte es grande, y por lo tanto cualquier mejora de las condiciones de precio del transporte tiene un efecto importante en la competitividad de las exportaciones, con respecto a la situación previa. En efecto, el proceso de la globalización de los mercados está conectado con mejoras en las tecnologías y disponibilidad de almacenamiento, transporte y comunicaciones, tal como se espera que ocurra frente a inversiones en infraestructura⁹.

Un importante grupo de relaciones resume la interacción entre la infraestructura y el crecimiento económico de una región, así se pueden destacar los siguientes aspectos; la accesibilidad que permite adaptar la región para actividades económicas y la infraestructura que se vincula con la integración económica y política en el nivel supranacional e impone una ordenación económica al territorio, es un determinante de su organización y apoya el crecimiento de la productividad y la competitividad del país.

Los servicios de transporte que hacen uso de la infraestructura tienen un impacto sobre la estructura de costos de las empresas, puesto que su disponibilidad y calidad permiten que las cadenas logísticas sean más eficientes. Así, la disminución de los costos unitarios de transporte y de las comunicaciones y en consecuencia, la mayor conectividad internacional, ha facultado el desarrollo de nuevas formas de producción flexible en el que tiene vigencia el concepto de justo a tiempo, tanto para los productos intermedios como finales. Esta nueva forma de creación de riqueza se caracteriza por nuevas complementariedades en el proceso productivo, en función de la productividad de los factores, lo que determina, junto con la infraestructura disponible, la localización de las instalaciones productivas¹⁰.

Finalmente, desde la perspectiva del análisis del mercado, es un aspecto muy importante, debido a la participación que tienen los generadores de carga en el sistema de transporte de una región, de esta forma se reconoce que se ha estudiado el transporte mediante el seguimiento de la exportación de productos seleccionados, este camino conlleva una serie de supuestos

⁹ Sánchez, R. (2003). Productivo de una región agrícola: un caso de Argentina. Boletín FAL No.207, Noviembre. Unidad de Transporte. CEPAL/ONU. Chile.

¹⁰ CEPAL/ONU (2004). Op Cit.

que pueden sesgar el análisis. Sin embargo, parece preferible esta vía con respecto al análisis de las operaciones de transporte independientemente del producto objeto de acarreo. Así, el considerar el producto como referencia de partida permite analizar la calidad del transporte en términos de eficiencia económica y ambiental, vistas desde la perspectiva del intercambio comercial, es decir desde el punto de vista del “cliente” del transporte. Una consideración alterna permite constatar que el mejor sistema de transporte sería el que se pudiera adaptar más perfectamente al producto a transportar¹¹.

¹¹ Rubiato. J.M. (2001). Mejores prácticas de transporte ínter modal en las Américas: estudio de casos de exportaciones del MERCOSUR al NAFTA. Serie Recursos Naturales e Infraestructura No 33. Unidad de Transporte. CEPAL/ONU. Chile

2. OBJETIVOS

Al estar este documento enmarcado dentro del proyecto “Observatorio Nacional del Transporte. Fase 1: Valle del Cauca” se proponen los siguientes objetivos.

2.1 *Objetivo general*

Proponer una estructura preliminar de la matriz de transporte ínter modal para el Valle del Cauca como instrumento de soporte al Observatorio Nacional del Transporte.

2.2 *Objetivos específicos*

- Identificar experiencias de trabajos técnico-científicos con alcances similares al proyecto del observatorio y en especial al instrumento matriz de transporte ínter modal.
- Seleccionar entre los trabajos estudiados en la literatura identificada el perfil de proyecto más acorde a los alcances del proyecto del observatorio y su herramienta de análisis la matriz.
- Reconocer y describir la metodología utilizada en el proyecto seleccionado anteriormente, para ser susceptible de aplicarse en el contexto del Valle del Cauca.
- Proponer las líneas de acción para la puesta en marcha desde la conceptualización, estructuración, implementación y evaluación de la matriz en el marco del observatorio.

3. METODOLOGÍAS RECONOCIDAS

Se describen a continuación dos tendencias predominantes en la literatura revisada, la experiencia de la planificación del transporte en el Brasil y la aplicación de este tipo de herramienta con otro tipo de acciones y escenarios como es el caso de México, Chile y Argentina.

3.1 La asignación por modo de transporte

Dentro de la información obtenida de la matriz de transporte de Brasil se destaca la importancia que tiene la distribución modal de la carga movilizada en el territorio, en ese sentido se identifica que la participación del modo carretero esta alrededor del 60%, siendo este modo de transporte el prioritario en la matriz, es de destacar que el modo férreo tiene una participación del 21% siendo el segundo en importancia, los demás modos de transportes asumen el resto de carga movilizada en el territorio. Ver figura 2.

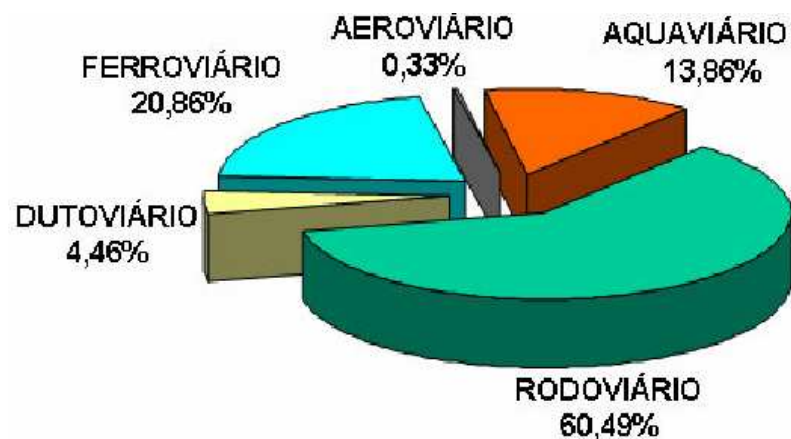


Figura 2. Matriz de Transporte del Brasil del 2000^{12,13}

Otra forma de aplicar la información de la matriz de transporte es como parámetro o indicador de comparación de las características y efectividad de la movilización de carga entre diferentes economías, es así como se aprecian diferencias sustanciales sobre todo en la asignación de carga entre los modos carretero, ferroviario y fluvial, se reconocen tendencias de mayor utilización del modo férreo en países de extensiones importantes. Ver figura 3.

¹² ICEX - Instituto Español de Comercio Exterior (2005). El Sector de Infraestructuras en Brasil y Sao Pablo. Informes Sectoriales. Brasil.

¹³ Consultoría Brasil (2005). Estudios Sectoriales-Industria de Pigmentos. Brasil

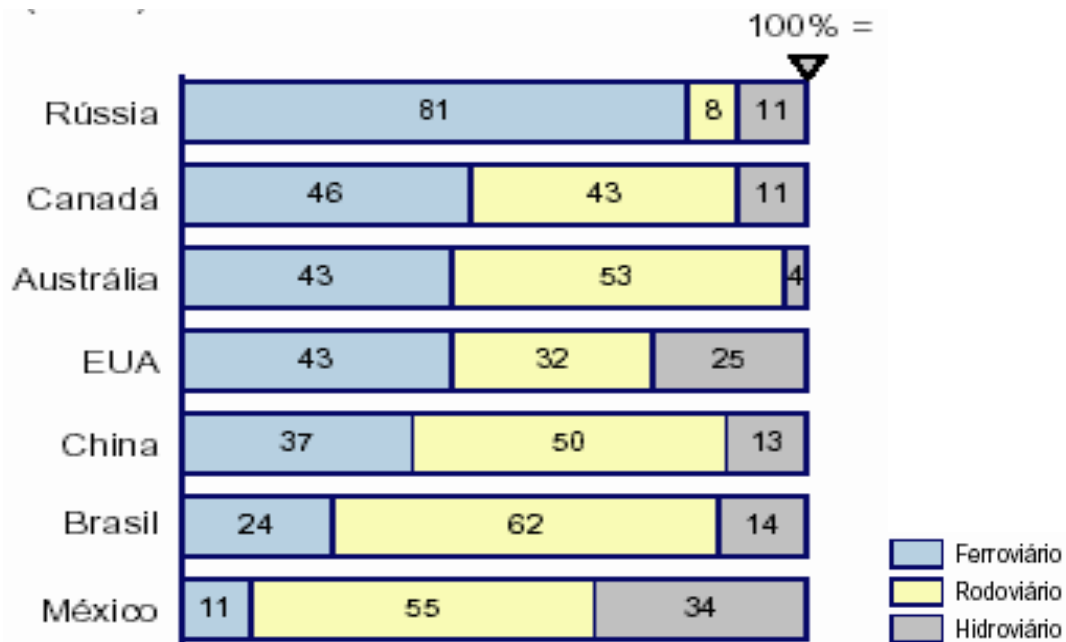


Figura 3. Matrices de transporte del 2003, sin considerar el transporte por ducto o aéreo¹⁴

Otra aplicación que se ha identificado de este instrumento es, en la gestión de la infraestructura, el seguimiento de los niveles de operación y los planes de inversión en las infraestructuras de transporte, sea de mantenimiento, rehabilitación, reconstrucción o nuevos desarrollos de infraestructuras de transporte, se pueden apoyar en los resultados y análisis obtenidos con la herramienta, como propósito la diversificación de la matriz de Transporte de Brasil.

3.2 La asignación por producto e íter modalidad

Las experiencias encontradas en la aplicación de este tipo de herramientas o modelos muestra como la mayor diferencia en comparación con el instrumento anterior, la transferencia de un modo de transporte a otro y la consideración del tipo de usuario de la cadena de transporte, el tipo de mercancía a movilizar. En la literatura consultada se revisaron casos de estudio documentados en México y Chile.

Dentro de las aplicaciones reconocidas en los casos mencionados se encuentra la identificación de flujos de carga y tráfico en el año de estudio y en distintos escenarios de planificación, es así como se relacionan las partes de la red que se verán en dificultades para suplir las características de la

¹⁴ BDO-Trevisan (2005). Infraestructura de transporte no Brasil. II Fórum Fiesp de Logística. Brasil.

demanda en un horizonte determinado y los costos en que se incurrirán en el proceso de movilización de la carga considerada. Ver figura 4.

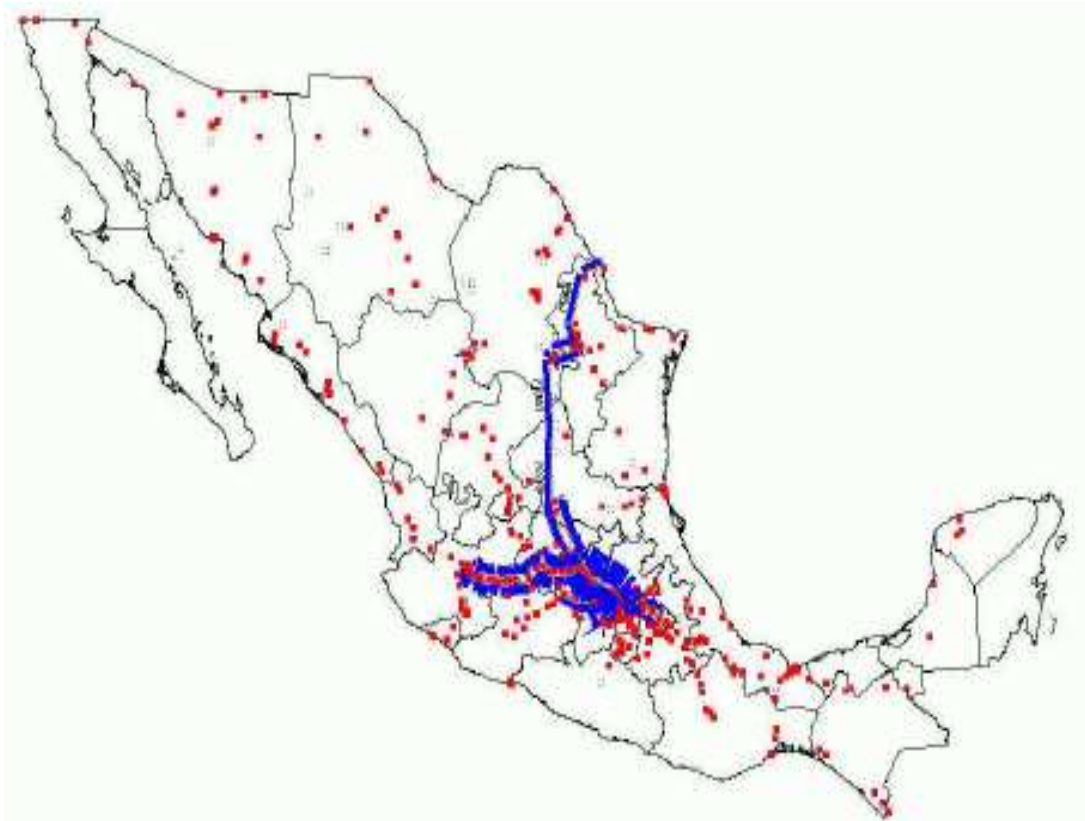


Figura 4. Porción de la red ferroviaria mexicana con flujos de carga mayores a 10.000 toneladas¹⁵

Otro aspecto a destacar es el análisis desagregado que se puede hacer dependiendo del tipo de carga que se moverá por el sistema, algunos de los indicadores que se pueden analizar son: tonelada movilizada por kilómetro, la distribución porcentual entre los tipos de productos, costos unitarios y del sistema global. Ver tabla 1.

La herramienta también permite identificar las consecuencias de nuevos desarrollos de la infraestructura en los modos de transporte incorporados en el modelo tanto en volúmenes de carga atraídos como los costos generados por las actuaciones en la red de transporte. Al estar este tipo de análisis basado en los requerimientos de transporte y de los patrones de producción y de distribución de los diferentes sectores productivos, permite expresar la demanda de transporte sobre la base de los tipos de productos. Basados

¹⁵ Centeno. A y Mendoza A. (2003). Op Cit.

sobre las características del producto asociadas al transporte, como el tipo de vehículo utilizado, la disponibilidad de modos, el valor del producto y la forma de estibarlos, se agrupan en categorías de productos¹⁶. Ver figura 5.

Tabla 1. Asignación multiproducto en México.¹⁷

Producto	Descripción	Toneladas-Kilómetro			
		Auto transporte	%	Ferrocarril	%
1	Forestales	15.476.257	2.0	532.687	0.3
2	Agrícolas	126.129.702	16.2	62.855.790	33.1
3	Animales y derivados	29.213.674	3.8	6.501.770	3.4
4	Mnerales	13.422.349	1.7	17.776.228	9.4
5	Petróleo y derivados	26.854.972	3.5	6.430.645	3.4
6	Inorgánicos	19.814.508	2.5	11.655.403	6.1
7	Industriales	511.722.060	65.7	45.038.212	23.7
8	Otros	35.717.325	4.6	39.127.553	20.6
Total		778.350.848	100.0	189.918.288	100

También se encontraron antecedentes de estudios relacionados con parámetros como insumo y producto, un ejemplo de ello fue realizado en Brasil, en donde se estudiaron las características de la mercancía movilizada y su mercado de consumo en función del desarrollo económico y tecnológico de la región, con el fin de caracterizar la demanda desagregada por regiones y por producto¹⁸. Dentro de la literatura consultada se encontró un trabajo similar al de Brasil, realizado en la republica Argentina en el año 1997¹⁹

¹⁶ Baeza O y Manterola. P. (2000). Planificación estratégica del sistema de transporte interurbano de la Macro zona Sur, Estrasur. Comisión de Planificación de Inversiones en infraestructura de transporte-Sectra. Chile

¹⁷ Ibid.

¹⁸ Rabelo, N, (1995). Modelo multi-regional de insumo-producto. Universidad Federal de Rio de Janeiro. Faculdade de Administração e Ciências Contábeis. Brasil

¹⁹ INDEC (1997). Matriz insumo-producto Argentina 1997. Argentina

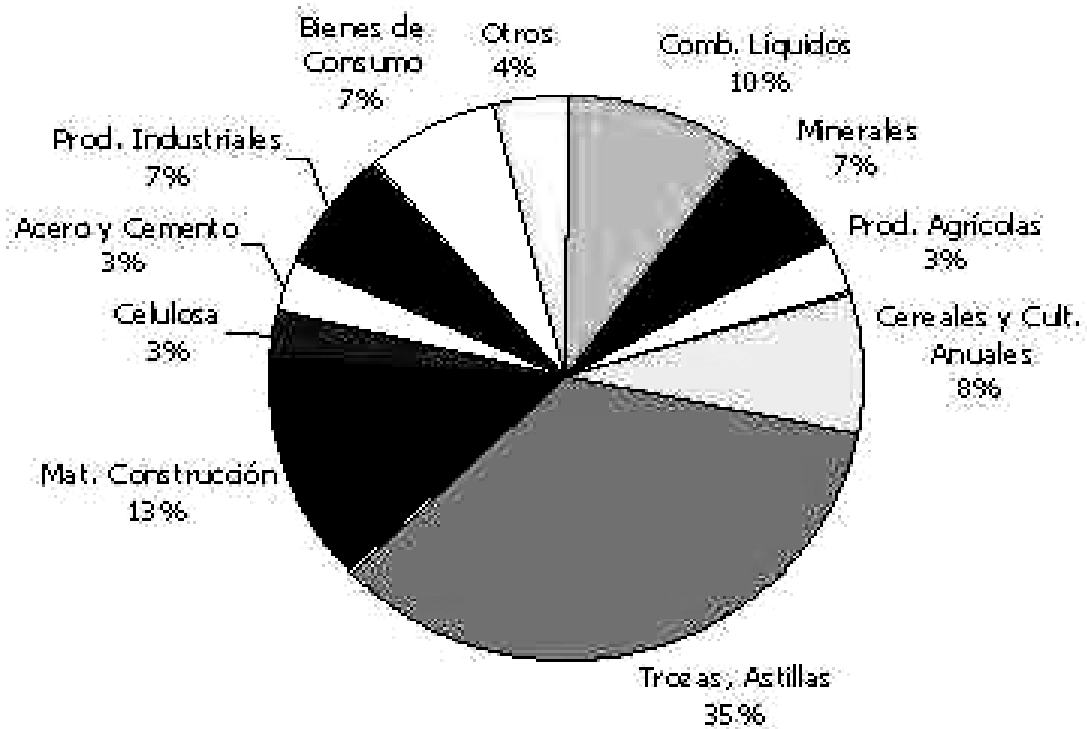


Figura 5. Participación de las categorías de productos en el total de toneladas movilizadas proyecto Estrasur²⁰.

²⁰ Ibíd.

4. CONTEXTO TEÓRICO

El punto de partida del modelo es la asignación de tráfico que, dentro de la temática de la planeación del transporte, es uno de los denominados “Cuatro Pasos del Proceso de Planeación”²¹; constituido por las siguientes etapas:

- Generación y atracción de viajes: Tiene por objeto determinar el número de viajes durante un cierto tiempo que se producen en cada una de las zonas de la región bajo estudio, así como aquéllos que son atraídos por cada zona.
- Distribución de viajes: Consiste en establecer las conexiones entre producción y atracción de las distintas zonas definidas en el paso anterior, llegándose a la generación de la matriz origen-destino (O-D) correspondiente.
- Reparto modal: Dado que los pasos anteriores hacen referencia a viajes producidos en la región bajo estudio; este paso tiene por objeto repartir dichos viajes entre los diferentes modos de transporte, atendiendo a las características del servicio ofrecido por cada uno de ellos.
- Asignación de tráfico: Consiste en tomar la fracción de la matriz repartida a un modo en particular, y asignarla a diferentes alternativas de caminos de la subred de ese modo, atendiendo las características particulares de los viajes a través de esos caminos (distancias, tiempo, costos, etc).

Como es evidente, los pasos anteriores tienen como propósito llegar a predecir flujos en los diferentes caminos, y por lo mismo, en los tramos de la red de cada modo. Para cada uno de los pasos anteriores existen modelos que permiten las predicciones. Los resultados finales del proceso completo de planeación hacen factible evaluar el impacto de diversas modificaciones de los sistemas modelados en los flujos. Esta información usualmente permite pronosticar los efectos de variaciones en los sistemas, tales como la construcción de una nueva infraestructura, la introducción de avances tecnológicos en cualquiera de los modos, el mejoramiento de la calidad de servicio, cambios en el ambiente económico-regulatorio, en las tecnologías, etc.²².

²¹ ITE-Institute of Transportation Engineers. (1992). Transportation Planning Handbook. Prentice Hall. USA. En: Centeno. A y Mendoza A. (2003).

²² Centeno. A y Mendoza A. (2003). Op Cit

Para fines de comprensión, y puesto que el objeto del presente trabajo es la asignación de tráfico, conviene definir este concepto al igual que el modelo, dentro de la rama de la ingeniería de transporte²³:

- Modelo: Proceso matemático utilizado para generar o producir relaciones entre dos o más variables.
- Asignación: Proceso mediante el cual los viajes previstos desde una zona de origen a otra de destino, se asignan a rutas concretas.

El proceso de asignación de tráfico es uno de los diferentes modelos matemáticos para la distribución de viajes y reparto modal. El tráfico es asignado a un posible camino o ruta mediante algoritmo, el cual determina la cantidad de flujo en cada ruta. La colocación del tránsito se basa en el tiempo relativo de viajes a través de cada camino posible²⁴.

El procedimiento de asignación se realiza con la siguiente función de costo generalizado total:

$$F = \sum_p \left[\sum_a \text{costo_unitario}_a^p(\text{volumen}) * \text{volumen}_a^p + \sum_t \text{costo_unitario}_t^p(\text{volumen}) * \text{volumen}_t^p \right]$$

p = productos; a = arcos y t = transferencias

Donde:

$\text{costo_unitario}_a^p(\text{volumen})$, es el costo generalizado de mover una tonelada del producto **p** a través del arco **a**, para un flujo total de mercancías **volumen** en arco; este costo aumenta exponencialmente cuando el flujo **volumen** se incrementa reflejando así el congestionamiento que se genera en el arco

volumen_a^p es el flujo de toneladas del producto **p** a través del arco **a**.

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

²³ Berber, R. et al. (1991). Modelos Matemáticos para Distribución de Viajes; Publicación Técnica No 31; Instituto Mexicano del Transporte. México.

²⁴ ITE-Institute of Transportation Engineers. (1992). Op Cit.

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

El procedimiento define el conjunto de flujos en todos los arcos que satisface los movimientos en la matriz origen-destino, las restricciones de conservación de flujo y de no-negatividad, y que minimiza la función anterior de costo.

Hay aplicaciones computacionales que permiten obtener una amplia variedad de resultados, ya sea de manera gráfica-interactiva o a través de salidas impresas. Así como también realizar e ilustrar gráficamente comparaciones de escenarios, relacionadas con flujos de productos (en toneladas, vehículos y costos).

Los productos o flujos que se analizan comúnmente son: forestales, agrícolas, animales y derivados, minerales, petróleo y derivados, inorgánicos, industriales, otros, vehículos vacíos y carga agregada²⁵.

²⁵ Centeno. A y Mendoza A. (2003). Op Cit.

5. ESTRUCTURA DE LA METODOLOGÍA SELECCIONADA

De las metodologías estudiadas en la literatura seleccionada para este trabajo, se propone adaptar la metodología planteada por Centeno y Mendoza (2003) en el documento *Modelo de asignación ínter modal multiproducto para las operaciones de carga por auto transporte y ferrocarril*. A continuación se relacionan los aspectos más relevantes del proceso a llevar a cabo en el escenario objeto del proyecto, el departamento del Valle del Cauca.

El estudio establece la interacción entre el ferrocarril y el auto transporte generando un sistema ínter modal, donde el empleo de diversos sistemas de transporte, en especial, la modalidad ferroviaria utiliza carros óptimos para desplazar mercancías de un punto a otro, con apoyo del auto transporte al principio y/o al final del recorrido²⁶.

Para el desarrollo del estudio, se contó con información para integrar la matriz origen-destino de los tipos de transporte considerado (carretero y ferroviario), por lo que la metodología se refiere al último paso, es decir, la asignación de tráfico. En el enfoque a que se hace referencia, se asigna la matriz O-D en forma agregada y desagregada, en este último caso en términos de diferentes productos; por tanto, los flujos asignados se obtienen también por tipo de producto (es decir, desagregados). Por tal razón, este tipo de asignación también se denomina “Multiproducto”.

El programa STAN utilizado, realiza la simulación del tránsito a través de la solución de un problema de programación no lineal que minimiza el costo total generalizado (multimodo y multiproducto), relacionado con el envío de los productos considerados, de sus orígenes a sus destinos, mediante los modos permitidos respetando ciertas restricciones de conservación de flujo y no-negatividad. También se especifica en el STAN un conjunto de funciones de comportamiento que permiten tomar en cuenta las restricciones de capacidad de los arcos de la red, así como el fenómeno de congestión de los diferentes modos. Para cada producto puede permitirse un subconjunto de modos en una asignación dada. Así mismo, definirse varias matrices de demanda origen-destino para un producto dado.

A continuación se describe brevemente la metodología llevada a cabo para realizar el estudio mencionado:

²⁶ IMT-Instituto Mexicano del Transporte (2001). Curso Internacional de Sistemas de Transporte Multimodal. México. En: Centeno. A y Mendoza A. (2003).

1. Se importa la infraestructura del sistema de transporte de la zona de estudio, al sistema de información geográfica Arc View, la red nacional de carreteras y la red férrea nacional. Para ambos casos con sus diferentes elementos (estaciones, tramos, rutas, carreteras).
2. El esquema de tramos será redefinido para ambos modos, de tal manera que todos los tramos queden delimitados por el inicio y terminación de los tramos del sistema., o por intersecciones para el caso carretero; y en el férreo por estaciones e intersecciones entre líneas. En este esquema, cada inicio y terminación de tramos, estaciones e intersecciones se designan para efectos del modelo, “nodos”; y los tramos entre ellos “arcos”.
3. En el Sistema de Información Geográfico-SIG ArcView se incorporará un sistema de centroides distribuidos en todo el territorio de estudio. Para este trabajo de modelación, se asume que en cada uno de estos centroides se generan y atraen todos los viajes de una zona representada por dicho centroide. Por tanto, al ingresar este sistema de centroides, en realidad se está incorporando al modelo una zonificación de la región en zonas.
4. De los centroides, se conectarán a los nodos de ambas redes (carretera y ferroviaria) aquéllos que puedan ser atendidos por estos modos (que coincidan o estén cercanos a dichos nodos). Por el lado carretero hay una mayor cobertura en la atención a los centroides y, por ende, una conexión menos problemática con los nodos. Ver figura 6.
5. Identificar los nodos en los cuales pueda darse una transferencia de carga. Esto puede ser en los propios centroides, o en la intersección de arcos de un modo con el otro (pasos a nivel o desnivel). Ver figura 7.
6. Depurar los nodos de transferencia, tomando en cuenta la posibilidad de eliminar aquellos en los que la producción de la zona sea muy pobre, o no contribuya de manera importante, de tal forma que conlleve a hacer la transferencia en algún otro nodo posterior.
7. Verificar en ArcView que las redes importadas, tanto carretera como ferroviaria, tengan continuidad completa, realizando las correcciones pertinentes en todos los sitios en los que se identifiquen discontinuidades injustificadas.



Figura 6. Modelo de transporte íter modal²⁷

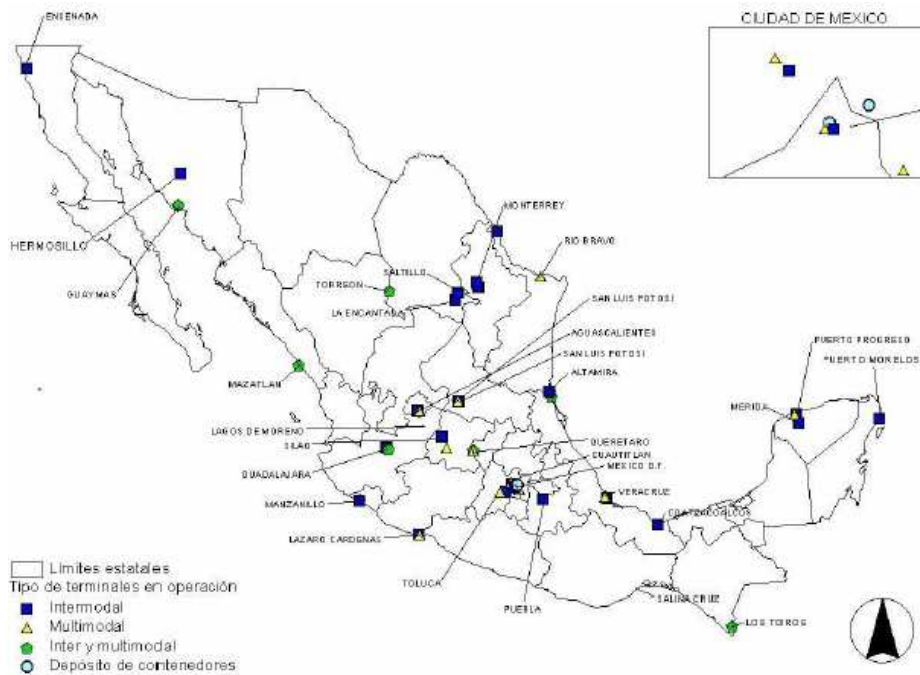


Figura 7. Terminales íter modales en operación²⁸

²⁷ Centeno. A y Mendoza A. (2003).

²⁸ *Ibíd.*

8. Ingresar un conjunto de variables de carácter operativo para los nodos y arcos requeridos por el STAN. Ver figura 8.



Figura 8. Modelo de red ínter modal en STAN²⁹

9. Desde ArcView se exportarán conjuntos de datos en archivos electrónicos (nodos, arcos, transferencias entre modos), que puedan ser leídos por STAN, para la creación en este último del modelo de asignación.
10. Se generarán e ingresarán al STAN las funciones de costo de transporte, tanto del sistema ferroviario como del carretero. Para el caso carretero, se considerarán los costos bajo condiciones de flujo libre, los cuales se estimarán con el programa costos de operación vehicular (COV), costos por demoras, y cuotas en autopistas de cuota. Para el ferrocarril, se obtendrán a partir de empresas operadoras del mismo, tomando en cuenta las organizaciones privadas y públicas.

²⁹ Ibid.

11. Se considera que la capacidad de los arcos de ambas redes es limitada, y que éstos se saturan en la medida en que un mayor flujo de vehículos o trenes los circula.
12. Se procesa la información O-D de cada modo para lograr las matrices multiproducto requeridas. Estas últimas serán incorporadas al modelo en STAN
13. Se corre el modelo en STAN. Ver figura 9.



Figura 9. Pares O-D Flujo mayor a 5000 ton diarias³⁰

14. Se calibra el modelo hasta obtener una buena predicción de flujos en los arcos de ambas redes, así como del balance actual de carga transportada entre los dos modos, tomado en cuenta las características y capacidades de cada uno
15. Se corre nuevamente el modelo en STAN, y se generan resultados.

³⁰ Ibíd.

16. Se evalúa con el modelo generado, la captación de la demanda que tendría la construcción de nuevas vías férreas o carreteras. Lo anterior, con el fin de analizar la factibilidad económica de su implementación. Ver figura 10.

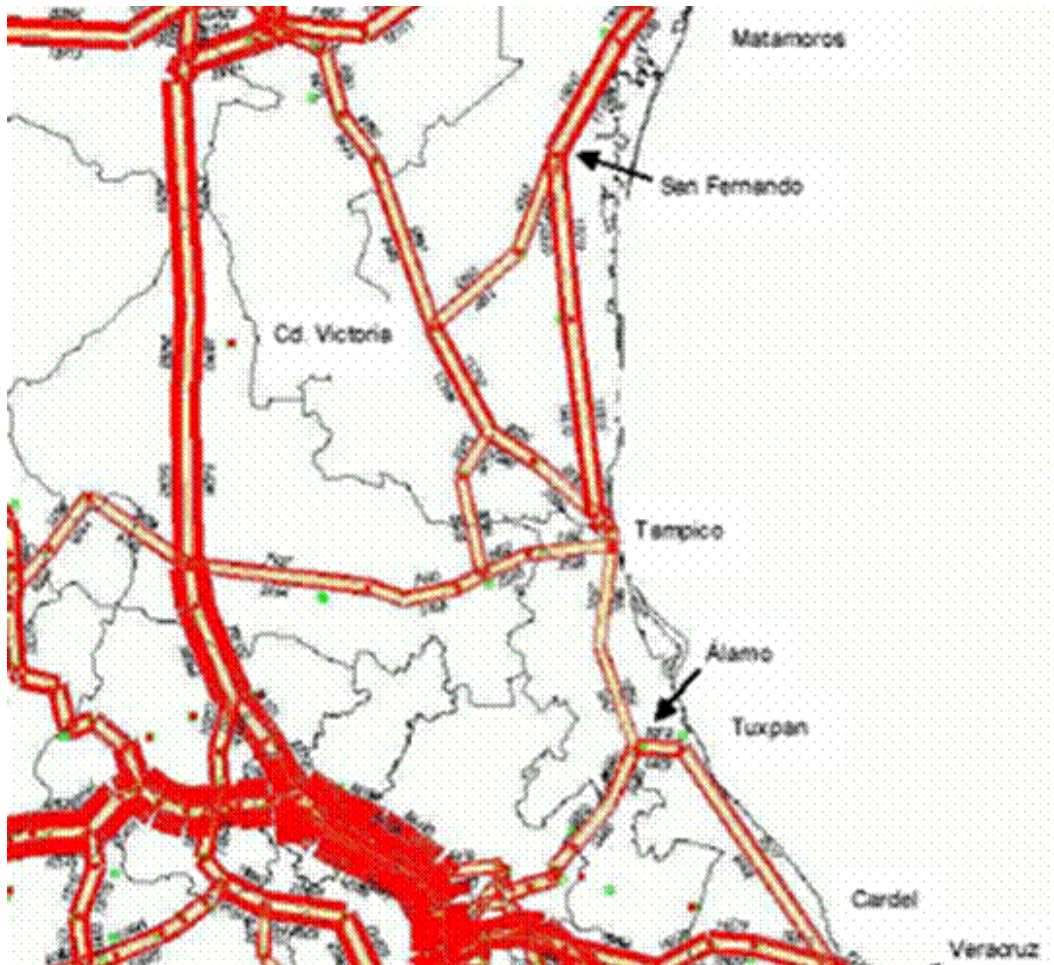


Figura 10. Flujos diarios de carga en las líneas propuestas³¹

³¹ Ibid.

6. RECOMENDACIONES

Se sugiere que el trabajo a realizar se enmarque en los alcances del proyecto, es decir, poder construir una plataforma informática de apoyo a la gestión del Observatorio que permita hacer análisis espaciales, preliminares e ir fundamentando la construcción del modelo de transporte ínter modal para el Valle del Cauca.

De acuerdo a lo anterior se propone que las etapas metodológicas se pueden simplificar de la siguiente forma:

1. Construir en una plataforma de información geográfica la infraestructura y red de vías para cada uno de los modos de transporte en la región de estudio, debidamente georeferenciada, actualizada y con registros de información estadística, documental, gráfica y de video, si fuera posible. La información considerada para la construcción de esta fase preferiblemente será secundaria.
2. Jerarquizar la red del sistema de transporte del Valle del Cauca de acuerdo a las características de clasificación para cada uno de los modos de las instituciones adscritas al Ministerio de Transporte y a las dependencias pertinentes en la Gobernación del Valle del Cauca, identificando así los nodos y arcos correspondientes a la zona de estudio.
3. Se propone construir una zonificación de carácter preliminar de acuerdo a las características socioeconómicas del departamento, considerando la información de PIB, población, generación de carga, extensión, etc. A estas zonas se les asignará un centroide para efectos de identificar el origen y el destino de cada una de las áreas de trabajo consideradas.
4. Se esquematizará el modelo de la red de transporte por modo y con las consecuentes conexiones a cada uno de los centroides de las zonas próximas o que se encuentran en el área de influencia de la infraestructura de transporte.
5. Los puntos de trasbordo se identificarán como intercambiadores modales, estos se describirán lo mejor posible de acuerdo a lo mencionado en el ítem 1 y considerarlos como nodos basados en la metodología seleccionada.
6. Filtrar la información hasta el momento generada para descartar según sea el caso nodos o arcos de poca o muy escasa participación en la movilización de carga en la región

7. Hacer un control de calidad de la información cartográfica de las redes de transporte existente en el sistema, en particular su continuidad y conexión con nodos identificados.
8. Asignar atributos al sistema en donde se pueda incorporar la información obtenida en el ítem 1.
9. Es probable que se hagan análisis históricos para la construcción del modelo descriptivo en un año base, punto de partida que permitirá hacer simulaciones y análisis prospectivos de ciertas condiciones de producción-distribución-consumo de mercancías en el departamento.
10. Se elaboraran hipótesis de escenarios para plantear, a través de algunos indicadores, las condiciones de variación de la demanda del transporte en la zona de estudio.
11. Se destaca que la labor planteada en este documento sería la plataforma ya construida para mas adelante, en la medida que se levante la información necesaria, poder modelar el sistema, pero sobre todo para hacer los análisis de sensibilidad ante actuaciones sobre la infraestructura de la red y sus terminales.

7. CONCLUSIONES

1. La planificación de transporte se apoya en herramientas que permiten entender el funcionamiento del sistema de transporte de una región dada y facilitan la gestión del funcionamiento, mantenimiento y flexibilidad ante cambios de la demanda.
2. Uno de los matices de estas herramientas es el analizar la operación del sistema de transporte de carga a través de la perspectiva del producto movilizado, esta mirada permite destacar e identificar la eficiencia económica y ambiental del proceso de transporte de una región a otra.
3. En contraste con lo anterior, el análisis del comportamiento del sistema de transporte de una región se puede apreciar desde la participación de cada modo de transporte en el gran mercado de la demanda de movilización, dentro de este esquema se reconoce que la participación del modo carretero oscila entre un 35 y un 60% y la del modo férreo esta entre un 20 y un 40%, siendo estos dos los modos de transporte mas utilizados.
4. El trabajar la planificación del transporte de carga considerando las características del producto permite incorporar patrones de producción y distribución, como forma de transporte, manipulación, estiba etc., a los análisis convencionales.
5. Se identificó además que el modelo clásico de planificación, conocido como modelo secuencial de las cuatro etapas, se considera vigente en este tipo de transporte, tan utilizado en los procesos de análisis del transporte urbano de pasajeros.
6. La estructura de trabajo seleccionada considera como elementos principales el tipo de producto y los modos de transporte a utilizar para movilizar la mercancía desde su origen hacia su destino, esto lo hace mas ajustado a la realidad y también más complejo.
7. Se destaca que en las recomendaciones de incorporación de esta metodología en el proyecto del observatorio se llegaría hasta la descripción relativamente amplia de variables dentro del sistema de transporte objeto del estudio, pero no se podría en principio establecer la asignación de viajes a cada uno de los nodos y poder hacer análisis de sensibilidad con base en la aparición de nueva infraestructura, se considera que lo que se podría plantear es análisis de sensibilidad pero en función de la producción y distribución-consumo de los elementos a transportar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Baeza O y Manterola. P. (2000). Planificación estratégica del sistema de transporte interurbano de la Macro zona Sur, Estrasur. Comisión de Planificación de Inversiones en infraestructura de transporte-Sectra. Chile
2. BDO-Trevisan (2005). Infraestructura de transporte no Brasil. II Fórum Fiesp de Logística. Brasil.
3. Berber, R. et al. (1991). Modelos Matemáticos para Distribución de Viajes; Publicación Técnica No 31; Instituto Mexicano del Transporte. México.
4. Cal y Mayor Asociados (1998). Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y transporte. Tomo I, Marco conceptual. Secretaria de Tránsito y Transporte de Santafé de Bogotá D.C. Colombia.
5. Cal y Mayor Asociados (2005). Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y transporte. Tomo I, Marco conceptual. Secretaria de Tránsito y Transporte de Santafé de Bogotá D.C. Colombia.
6. Centeno. A y Mendoza A. (2003). Modelo de asignación ínter modal multiproducto para las operaciones de carga por auto transporte y ferrocarril. Instituto Mexicano del Transporte. Secretaria de Comunicaciones y Transporte. México.
7. CEPAL/ONU (2004). Infraestructura, transporte e integración: la relación con el desarrollo productivo y la competitividad regional. Boletín FAL No.211, Marzo, Unidad de Transporte. Chile
8. Consultoría Brasil (2005). Estudios Sectoriales-Industria de Pigmentos. Brasil
9. ICEX - Instituto Español de Comercio Exterior (2005). El Sector de Infraestructuras en Brasil y Sao Pablo. Informes Sectoriales. Brasil.
10. IMT-Instituto Mexicano del Transporte (2001). Curso Internacional de Sistemas de Transporte Multimodal. México. En: Centeno. A y Mendoza A. (2003).
11. INDEC (1997). Matriz insumo-producto Argentina 1997. Argentina

12. ITE-Institute of Transportation Engineers. (1992). Transportation Planning Handbook. Prentice Hall. USA. En: Centeno. A y Mendoza A. (2003).
13. Jiménez, G. et al. (2004). Programa Estratégico de Transporte Ínter modal y Logística para el Valle del Cauca 2015. Primer Foro Regional de Transporte Ínter modal y Logística del Valle del Cauca - Diagnóstico y Perspectiva. Centro Colombiano de Tecnologías del Transporte – CCTT. Colombia
14. Manheim. M. (1979). Fundamentals of Transportation Systems Analysis, Volume 1: Basic Concepts. MIT Press. Estados Unidos de América. En: Cal y Mayor Asociados (2005).
15. Rabelo, N, (1995). Modelo multi-regional de insumo-producto. Universidad Federal de Rio de Janeiro. Faculdade de Administração e Ciências Contábeis. Brasil
16. Rubiato. J.M. (2001). Mejores prácticas de transporte ínter modal en las Américas: estudio de casos de exportaciones del MERCOSUR al NAFTA. Serie Recursos Naturales e Infraestructura No 33. Unidad de Transporte. CEPAL/ONU. Chile
17. Sánchez, R. (2003). Productivo de una región agrícola: un caso de Argentina. Boletín FAL No.207, Noviembre. Unidad de Transporte. CEPAL/ONU. Chile.
18. SEDESOL-Secretaria de Desarrollo Social (2000). Manual de Conceptos y Lineamientos para la Planeación del Transporte Urbano. Secretaria de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio. México
19. Thomas, A y Molina D. (2004). La planificación del transporte y su incidencia en la competitividad de las ciudades. Boletín FAL No.212, Abril. Unidad de Transporte. CEPAL/ONU. Chile.