

**APUNTES DE LA ASIGNATURA**  
**TRANSPORTE POR CARRETERA**  
**INGENIERIA CIVIL PLAN 97**  
**ING. CARLOS CHIOCCONI**

Montevideo, Abril de 2016

1. **Nombre de la asignatura:** “TRANSPORTE POR CARRETERA”.

2. **Créditos:** 7 (siete).

3. **Objetivos de la asignatura.**

Formar al estudiante en la actividad del transporte por carretera en sus diferentes temáticas, economía, infraestructura, vehículos, dinámica de movimiento y operación.

Suministrar a los futuros profesionales los principales conceptos relacionados con el comportamiento del subsector transporte vial, su gestión operativa, abarcando aspectos institucionales, normativos, etc.

4. **Metodología de enseñanza.**

El curso se desarrollará en un semestre de 15 (quince) semanas lectivas a razón de 4(cuatro) horas semanales de clases teóricas totalizando 60 (sesenta) horas.

5. **Temario**

- 1) El Transporte por Carretera dentro del Sistema de Transporte (6 hs).  
Las características básicas del modo. Función del transporte por carretera.  
Evolución. Características principales.  
Políticas de transporte y reglamentaciones. Oficinas públicas.  
Transporte de carga y de pasajeros: características.
- 2) Infraestructura de transporte (8 hs).  
Infraestructura vial: redes de carreteras y su vinculación con los otros modos de transporte, la Red Vial de Uruguay (clasificación, características y administración).  
Corredores Internacionales de Transporte, Pasos de Frontera, puestos de peaje, terminales de cargas y de pasajeros, sistemas intermodales.
- 3) Vehículos (10 hs)  
Vehículos: tipología (clasificación), pesos y dimensiones, normativa, inspecciones, parque vehicular de Uruguay.
- 4) Factores de la operación (14 hs)  
Flujo vehicular. Niveles de Servicio: capacidad, accesibilidad.

Transporte de carga: características, regulación, normas nacionales e internacionales.

Transporte de personas: autotransporte y transporte colectivo, regulaciones, normas nacionales e internacionales.

Tránsito: reglamentaciones de circulación.

Control operativo: funciones de control, comunicaciones, señalización, dispositivos de control de tránsito, sistemas inteligentes de transporte.

- 5) Planificación de transporte (6 hs)  
Conceptos generales de planificación de transporte: ámbitos de planificación (urbano, regional, nacional).
- 6) Economía de Transporte (8 hs)  
Costos: costos de operación de los vehículos, costos asociados y complementarios.  
Tarifas y precios: formación de tarifas, sistemas regulados y de libre competencia.  
Indicadores de las actividades. Inversiones, financiamiento.
- 7) Aspectos ambientales del transporte por carretera (4 hs)  
Las cuestiones ambientales y el interés general.  
Impacto de los proyectos de transporte vial. Estudios de impacto ambiental.  
Efectos ambientales de la circulación de los vehículos: ruido, contaminación atmosférica (vehículos a gasolina y a gasoil, energías alternativas), derrames, atravesamiento de centros poblados.
- 8) Seguridad vial (4 hs)  
El hombre. El vehículo. La carretera.  
Elementos de seguridad: objeto, función, selección, emplazamiento.  
Limitaciones de velocidad.  
Accidentalidad.  
Prevención de accidentes.

## 6. Bibliografía

<b>Título</b>	<b>Autor</b>	<b>Editorial</b>
El Sector Transporte. Análisis Introductorio	Roger, J. G.	ONP
Transportation and Traffic Engineering Handbook	Institute of Transportation Engineers	T&TE Handbook
Anuario Estadístico de Transporte 2013	Dirección Nacional de Transporte	
Urban Public Transportation. Systems and Technology	Vukan Vuchic	
Ingeniería de Tránsito	Rafael Cal y Mayor James Cárdenas	Alfaomega
Ingeniería de Transporte	William W. Hay	Limusa
Ingeniería de Tráfico	Antonio Valdes	Dossat SA
Modelos de demanda de transporte	Juan de Dios Ortúzar	Universidad Católica de Chile

## 7. Conocimientos previos exigidos y recomendados

Son exigidos conocimientos correspondientes a: física, mecánica, economía, caminos y elementos básicos de transporte.

# CAPITULO 1

## 1.1. GENERALIDADES

Cuando hablamos de "transporte" se nos representa la idea del traslado, movimiento o tránsito, de alguna cosa.

Una definición un tanto abstracta habla de "la acción de llevar personas, bienes o mercaderías de un lugar para otro". Más relacionado con el concepto económico de transporte tenemos "el traslado que una persona o un vehículo hace de terceros o cosas, y aún de sí mismo".

Con respecto a la expresión "sistema de transporte", la misma se refiere al conjunto de infraestructuras y equipos que suministran ese servicio a una región geográfica, con evolución en el tiempo. En un sentido más amplio, ese sistema (M. Bunge, J. Aracil) posee "componentes" ligadas entre sí y con el sistema íntegro de manera compleja y, "propiedades" como la de comportarse como un todo en relación con otros sistemas. Citemos, a manera de ejemplo, algunas de las componentes del sistema de transporte interdepartamental de pasajeros: empresas, tarifas, jurisdicciones en cuanto a la construcción y mantenimiento de caminos y calles, marco normativo de tránsito y de transporte, estaciones terminales, etc.

Relacionado con su complejidad y más allá de su definición, están las razones que hacen al transporte, desde el simple acarreo de compras en un supermercado hasta el envío de satélites artificiales al espacio exterior. Las mismas incluyen: las diferencias geográficas entre regiones, la especialización de las mismas (barrios comerciales en una ciudad, p.ej.), las economías de escala (es decir, la característica de una tecnología de producción que hace que los costos unitarios bajen con un aumento de la misma. P.ej. precio de automóviles en países de gran consumo), objetivos político-militares, relaciones sociales, razones culturales (como la investigación), localización de la población, etc., etc.

Ante lo intrincado del tema, surge la necesidad de su clasificación. Así, encontramos transporte de pasajeros y de carga (dependiendo de lo que se transporta), de transporte nacional, regional, suburbano, urbano (dependiendo del área geográfica), terrestre, marítimo-fluvial, aéreo (dependiendo del **medio** por el cual se realiza), carretero, ferroviario, por avión, por conductos, por barco, a pie, etc. (dependiendo del **modo o**

**modalidad).**

Además del objeto que se traslada, el concepto de transporte está asociado a la idea de distancia. Es por ello que se definen como **unidades del transporte** a la tonelada-kilómetro (**t-km**) y el pasajero-kilómetro (**pas-km**).

Por último, cabe agregar que todo transporte está íntimamente unido a la idea de tránsito, o movimiento de pasajeros y/o cargas. Así, en la mayoría de las clasificaciones modales se identifican como variables fundamentales a la velocidad y a la capacidad "dinámica" (es decir a la asociada al flujo de vehículos).(Ref.1)

## **1.2. EL TRANSPORTE COMO SECTOR ECONOMICO**

Dentro de la concepción clásica de la economía, al transporte se le considera como el conjunto de actividades relacionadas con el desplazamiento físico de mercaderías y personas, e integrante del sector terciario (servicios).

Tiene una innegable responsabilidad dentro de la economía de una región geográfica (desde un barrio de una ciudad a un continente): es el sector que le da movilidad a los demás. Muchas veces, se le ha considerado como el factor desencadenante del desarrollo.

Todo ello se revela en la elevada participación que normalmente tiene en la estructura del PIB, en la ocupacional, en la Inversión Pública (y privada) y en el consumo energético de los diferentes países. (Ver PETERS, H.J., "Transportation and Society" en T&TE Handbook, ref. 2, 5 y 6).

Nota: El Producto Interno Bruto (PIB), mide el total de la producción de bienes (agricultura, industria, etc) y servicios para uso final de un país.

En lo relativo a las inversiones, éstas pueden clasificarse en aquellas correspondientes a los vehículos y, las utilizadas para las infraestructuras necesarias para dichos vehículos. Las infraestructuras comprenden a las vías (camino y calles, puertos, viaductos, túneles, canales y dragados) e instalaciones fijas como terminales (de carga y pasajeros), puertos, aeropuertos, sistema de servicios de abastecimiento (agua, energía eléctrica, gas), equipos para el mantenimiento de vehículos, entre otros.

En una concepción logística, se considera al transporte (de carga) como integrante de la cadena (o proceso) de un producto: extracción, transformación, almacenamiento, consumo;

sirviendo de vínculo imprescindible entre cada uno de los mismos.

A pesar de su importancia, es necesario tener presente que la función del transporte, en el desarrollo económico, es esencialmente de carácter permisivo. Es decir, el transporte es **condición necesaria**, pero no suficiente para acelerar o impulsar dicho desarrollo.

Como actividad económica, permite los análisis de tipo de mercado (monopolios, oligopolios, abierto, cerrado) y del equilibrio oferta-demanda. En ese sentido debemos destacar las características especiales de su demanda:

- Es **derivada**, es decir depende de la demanda de bienes a movilizar (carga) y de la necesidad de viajar de las personas (pasajeros). Reafirmando el concepto de que el transporte no es un fin en sí mismo, es un medio fundamental para lograr el necesario intercambio de bienes y personas.
- Su consumo **instantáneo**, no se puede almacenar. Al efectuar el traslado, estamos "consumiendo" el bien "transporte".
- Es **intangibles**.

Más allá de su carácter de servicio complementario, auxiliar fundamental en el proceso de desarrollo económico, su importancia rebasa las actividades de esa índole al afectar la vida social y cultural (posesión de automóvil, ocupación, accesibilidad de medios rurales a urbes), ambiental (contaminación) y política (límites) de la comunidad.

Dentro del abordaje de este capítulo no debemos olvidar al concepto de sistema de transporte **óptimo** o eficiente, es decir, aquel que permite el aprovechamiento de la energía y potencial humano y material disponible (recursos, por lo general escasos), reduciendo a un mínimo el costo (relacionado con la distancia, \$/km). Dicho transporte proporciona excedentes a las demás actividades económicas, lo que es muy importante pues sus costos pueden hacer imposible lograr precios de productos aceptables para un mercado cada vez más competitivo.

### **1.3. AREAS DE ESTUDIO EN TRANSPORTE**

Dada la complejidad inherente al mismo (número de variables y sus relaciones) el análisis de un sistema de transporte es importante abordarlo de manera multidisciplinaria.

Existen varias áreas de estudio dentro del transporte, las cuales están relacionadas con una infinidad de especialidades de la ciencia. Entre las principales tenemos:

- Económica: análisis de oferta-demanda, micro-economía, regresiones, costos, tarifas.
- Ingeniería: diseño, construcción y operación de elementos físicos, es decir, infraestructura y equipos (vías, vehículos, terminales). Incluidos modelos de simulación.

Ingeniería de tránsito: planeamiento, diseño y operación de calles y caminos a fin de garantizar el movimiento de bienes y personas de manera eficiente y segura.

- Planificación: conjunto de procedimientos técnico-administrativos que permiten estructurar un sistema coherente con los objetivos.
- Legislación: normativas tendientes a lograr un funcionamiento racional, coordinado y seguro de los diferentes modos. Existen, a su vez, varios tipos de normativas:
  - económicas, como la fijación de tarifas, los impuestos y subsidios.
  - técnicas, como las relacionadas con los tipos de vehículos, cargas, pesos máximos, alturas.
  - operacionales, p.ej. número de vehículos operando, intervalo, recorridos.
  - socio-políticas, p.ej. pase libre.

## **1.4. EL TRANSPORTE POR CARRETERA Y SUS CARACTERISTICAS**

De todos los modos de transporte, el carretero es el de mayor importancia en nuestro país y en el mundo. Lo señalado se refleja particularmente en su participación en: el consumo energético (derivados de petróleo), la estructura ocupacional (empresas de camiones y ómnibus) y las importaciones (vehículos automotores). Asimismo, en la actualidad, el mayor porcentaje de las t.km y la casi totalidad de los pas.km anuales son movidos por carreteras.

A fin de conocer sus características realizaremos una breve descripción comparativa de cada modo (autotransporte, ferroviario, medio acuático y aéreo, tuberías, multimodal, por contenedores) y al tipo de movilidad al cual mejor se adapta.

### **1.4.1. Modo Vial**

- Desplazamiento bidimensional sobre una superficie especialmente preparada, lo cual permite llegar a cualquier punto conectado por caminos y por tanto evitar el transporte complementario. Servicio "puerta a puerta".
- No está sujeto a los horarios y programación de tráfico que requiere el ferrocarril. Esto es particularmente importante en el caso del transporte de cargas, ya que la independencia del camión de la organización del tráfico permite una administración con reducidos costos fijos y que puede operar económicamente con menores volúmenes de tráfico.
- Mejor adaptación de la capacidad de carga por vehículo en comparación con el ferrocarril; constituye desventaja para tráfico masivos, pero es una ventaja para tráfico débiles, al permitir una menor frecuencia.
- Tiene menor rendimiento (energía, "consumo" de suelo) en comparación con otros modos, por unidad transportada. Utiliza mayor cantidad de mano de obra directa.
- Presenta los peores valores respecto a la contaminación ambiental, especialmente

atmosférica (motores a combustión interna) y accidentes de tránsito por pas-km.  
(Ref. 3)

Especialmente apto para el transporte de pasajeros y mercaderías a corta y mediana distancia.

### **1.4.2. Modo Ferroviario**

- El movimiento del ferrocarril es unidimensional y guiado, eso le permite formar trenes largos de muchos vagones sin problemas de maniobra y con reducido personal de conducción (factor convoy).
- El bajo coeficiente de rozamiento correspondiente al par llanta-riel de acero, permite el desplazamiento de grandes cargas por eje y a velocidades razonables. Valores de resistencia específica a la tracción de 2,5 a 3 para el ffcc y 7 a 8 kgf por cada mil kg, para el autotransporte.
- El consumo específico de energía (potencia por unidad de tráfico) es relativamente bajo (característica en la cual sólo le supera el transporte por agua).
- En medios urbanos donde la tierra es de elevado valor, tiene la ventaja de poder movilizar grandes volúmenes de carga o pasajeros en franjas estrechas de tierra.
- Su rigidez en cuanto a la estructura de la red, exige por lo general transportes complementarios. Acerca la mercadería (o el pasajero) hasta la estación más próxima.
- Las inversiones son relativamente elevadas, lo cual se debe a dos razones fundamentales: las características intrínsecas (ingeniería) del sistema y la rigidez en las inversiones en infraestructura, que no permite escalonamientos en función de las densidades de tráfico.

Se adapta para el transporte de cargas pesadas a larga distancia y al transporte masivo-rápido de personas en zonas urbanas.

### **1.4.3. Medio acuático (fluvio-marítimo)**

- Bajo consumo específico de energía, en función de la escasa resistencia casco-agua, lo cual permite la movilización de grandes volúmenes, aunque a bajas velocidades.
- Gran capacidad unitaria de los navíos y bajos requerimientos de mano de obra directa por unidad de tráfico.
- El costo de inversión en infraestructura (puertos, dragados) es comparativamente menor que para otros medios.
- Existe un condicionamiento de las rutas con respecto a las vías navegables existentes y sus condiciones intrínsecas.
- Elevado nivel de costos fijos debido al transporte complementario, a los gastos generales y a los costos portuarios que se realizan cualquiera sea la distancia del viaje.

Ideal para transportes masivos a larga distancia, preferentemente de mercaderías a granel de bajo valor unitario.

#### **1.4.4. Medio aéreo**

- Movimiento tridimensional, con sustentación en el aire. El uso de superficie terrestre se reduce a infraestructura aeroportuaria y de control de vuelo.
- Suele ser el único medio de transporte entre puntos que no están conectados entre sí por vía férrea, carretera o vía navegable.
- Desplazamiento a grandes velocidades y con alto grado de seguridad; es el medio que registra el menor número de accidentes por unidad de tráfico (muertes/ pas-km).
- Los costos de infraestructura son elevados (requerimientos sofisticados de las terminales aéreas y del sistema de control de seguridad de vuelos).
- Cantidad y calidad de requerimientos de mano de obra para mantenimiento y seguridad.

Transporte a larga distancia de pasajeros y mercaderías de alto valor y/o muy perecederas.

Lugares de difícil accesibilidad por otros modos.

#### **1.4.5. Tuberías**

- En este caso el elemento móvil es el propio fluido que se transporta.
- Su existencia no afecta otra infraestructura existente (usualmente se construyen bajo tierra).
- Es de rápida construcción y bajos costos de operación (requerimientos de mano de obra reducidos).
- Requieren un mantenimiento especializado y eficiente, ya que una falla puede inmovilizar a todo el sistema.

Se utiliza para el transporte de líquidos en grandes volúmenes.

A manera de resumen de algunas de las funciones más comunes de diferentes "tipos" de transporte, presentamos el siguiente cuadro:

MODO/MEDIO	TIPO	PASAJEROS	CARGA
CARRETERO	CAMIONES	casos	amplia gama pequeñas cargas Paquetes Personal Reparto
	OMNIBUS AUTOS BICICLETAS	Local y entre ciudades Local, paseo	
FERROVIARIO	FERROVIAS PUBLICO	Entre ciudad < 500 km Commuter, ciudad	Grandes cargas Paquetes
AEREO	CARGUEROS	Entre ciudad >500 km, transoceánico	Alto valor específico
	AVIACION GENERAL	Entre ciudad transoceánico	Bultos
POR AGUA	MARITIMO	Cruceros	Grandes bultos Barcazas
	CABOTAJE	Ferry	
FLUJO CONTINUO	ACUEDUCTOS	NO	Petróleo, Gas natural Material < 15 km
	CINTAS	Escaleras u horizontales corta distancia Escarlar, alzar terreno montañoso	
	CABLES		Materiales

### 1.4.6. Transporte Multimodal (Intermodal o Combinado)

Dentro del marco de un creciente aumento del traslado de personas y tráfico de mercancías se está difundiendo, en los últimos años, el uso de sistemas combinados, llamados multimodales o bien, intermodales.

Por ejemplo, para el transporte de pasajeros del tipo "commuter" (zona residencial a centro cívico-comercial y viceversa) tenemos, la combinación auto-tren (metropolitano). En el caso del transporte de cargas, es común el uso de camión-tren, camión-barco, barco-tren o bien camión-tren-barco.

El transporte multimodal necesita, para lograr su objetivo (ser eficaz) y realizarlo con el menor consumo de recursos (ser eficiente), de múltiples aspectos, los cuales podemos resumir en cuatro integraciones:

- **Física**, abarcando el diseño, la construcción y mantenimiento de las obras de infraestructura (vías y puntos terminales o intermedios como: estaciones de intercambio de pasajeros de ómnibus a tren metropolitano o centros de transferencia de carga, de camión a tren).
- **Administrativa**, armonizando la normativa sobre transporte. P.ej., simplificando trámites aduaneros, documentos, controles.
- **Operacional**, coordinando esfuerzos entre los operadores de servicios. P.ej., compatibilidad de horarios de combinación de ómnibus y,
- **Tarifaria**, políticas de precios de servicios tendientes a "atraer" la demanda. P.ej. rebaja de boletos combinación.

Uno de los avances tecnológicos reciente, dentro del transporte multimodal de cargas, ha sido el desarrollo de los llamados contenedores:

- El contenedor es una caja móvil de grandes dimensiones, que se puede adaptar a distintos modos de transporte.

- El contenedor universal (dimensiones standard) es un accesorio extremadamente flexible, que puede ser transferido con rapidez de un camión a un vagón plano, a la bodega de un barco, a un avión, etc.
- El costo de traslado de los contenedores desde un modo de transporte a otro, es muy bajo en comparación con los correspondientes a sistemas convencionales.
- Los contenedores sellados son relativamente inmunes al robo y permiten la transferencia de carga con un sólo documento de embarque, además de ventajas en el transporte internacional (paso por aduanas).
- El uso de contenedores ha permitido el desarrollo de nuevas combinaciones de transporte, tales como: sistema "piggy back" (contenedor sobre semirremolque, que pasa directamente del camión aun chasis de vagón ferroviario); sistema "roll-on, roll-off" (ídem al anterior pero aplicado al medio marítimo); y sistema "lash" (que consiste en barcazas de empuje que trasladan contenedores y luego se adosan, mediante grúas, a grandes barcos).

### **1.5. ELEMENTOS A CONSIDERAR EN UNA ELECCION MODAL**

El usuario, sea una persona que desea trasladarse ella misma de un lugar a otro, un Ministerio que quiere permitir o mejorar la accesibilidad de los habitantes de la ciudad A a la B, o bien un productor que tiene tantas t un punto X y quiere llevarlas al puerto en Y, normalmente se encuentra frente a la posibilidad de elegir entre una o más modalidades de transporte.

Los elementos básicos a considerar en la elección modal son:

- Existencia o no del modo. Disponibilidad.
- Características intrínsecas (atributos del servicio). Tecnología, ventajas comparativas (capítulo 1.4.)

Algunos atributos: capacidad, comodidad, precio, intervalo de operación, tiempos de viaje, "headway" o frecuencias, salidas, regularidad, puntualidad, etc.

- Tipo, estado y funcionamiento de vías y/o terminales.

- Compatibilidad de itinerarios (recorridos y horarios).
- Características de la oferta del "mercado": competencia o complementación, monopolios, oligopolios, etc. Tarifas.
- Marco normativo.
- Distancia.
- Características del objeto a transportar: personas (edad, sexo, estado de salud), carga (valor unitario, perecedera o no, peligrosidad, estado físico).
- Presupuesto del usuario.
- Disponibilidad de tiempo del usuario.

En un análisis a nivel de planificación sectorial uno de los principales factores a tomar en cuenta es el cálculo de la **distancia límite** entre las diferentes modalidades. Dicho cálculo se basa en el conocimiento de los costos fijos (inversiones) y los variables (con la distancia), y permite determinar la distancia a partir del cual es más ventajosa uno u otro modo de transporte. Ver ref.4.

## 1.6. BIBLIOGRAFIA

- ROGER, J. G., "El Sector Transporte. Análisis Introductorio", O.N.P., Montevideo,

abril 1978.

- INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS, "Transportation and Traffic Engineering Handbook", 21 edition, New Jersey, 1982. T&TE Handbook

## **Referencias**

- 1- VUCHIC, V.R., "Urban Public Transportation", New Jersey, 1981.
- 2- BANCO MUNDIAL, "Informe sobre el Desarrollo Mundial 1994", Washington D.C.
- 3- ELLWANGER, G., "Los ferrocarriles: Operadores amigos del medio ambiente" en el Boletín n1 324 de la A.C.P.F., nov-dic 1991.
- 4- GARCIA VINCENS, R. y ESPINOZA, H., "Consideraciones técnico-económicas para desarrollar un sistema eficiente de transportaciones de cargas", en revista Ingeniería en Transporte n12, La Habana, 1989.
- 5- DIRECCION NACIONAL DE TRANSPORTE, "Anuario Estadístico de Transporte-2013", M.T.O.P., Montevideo.
- 6- ARAGON, A. y LOPEZ, C., "Consumo de energía en el sector transporte. Transporte público-vehículo privado", págs. 27 a 39 de RUTAS n147, Madrid, marzo-abril 1995.

## **Revistas y publicaciones, Facultad de Ingeniería**

Port Development International, Inglaterra

Cargo Systems, Inglaterra

Containerisation Internacional, Inglaterra

Airport Forum, Alemania

International Railway Journal and Rapid Transit Review, USA

Revue General des Chemins de Fer, Francia

Transports, Francia

Railway Gazette Internacional, Inglaterra

TR News, USA

ETR, Alemania

Asociación del Congreso Panamericano de Ferrocarriles

ADAF, "El ferrocarril en España" Madrid, 1985.

## **CAPITULO 2**

### **2.1. GENERALIDADES**

Se entiende por camino, aquella faja de terreno acondicionada para el tránsito de vehículos. La denominación de camino incluye a nivel rural las llamadas carreteras, y a nivel urbano las calles de la ciudad.

Ciertamente uno de los patrimonios más valiosos con los que cuenta cualquier país, es la infraestructura de su red vial, por lo que su magnitud y calidad representan uno de los indicadores de grado de desarrollo del mismo. Se encontrará siempre que un país desarrollado tendrá un excelente sistema vial, un país atrasado tendrá una red deficiente.

El diseño geométrico de las carreteras y calles, incluye todos aquellos elementos relacionados con el alineamiento horizontal, el alineamiento vertical y los diversos componentes de la sección transversal.

### **2.2. INFRAESTRUCTURA VIAL URUGUAYA**

#### **2.2.1. Historia**

Las primeras formas de comunicación en la Banda Oriental fueron: en el medio fluvial, embarcaciones y, en el terrestre, los "chasques" (jinetes) y las postas de diligencias y carretas.

Las características del territorio uruguayo:

- 700 x 500 km entre puntos más alejados,
- topografía ondulada ("cuchillas"), de reducida altura y suaves pendientes,
- red hidrográfica densa y muy ramificada, consecuencia de lluvias abundantes sobre suelos impermeables,

no opusieron grandes dificultades a la construcción de caminos "terrestres" buscando las menores distancias y las condiciones más favorables, aunque debieron soportar las crecidas, con extensas zonas de inundación, de ríos y arroyos.

En la segunda mitad del siglo XIX se establecen las primeras líneas férreas desde

Montevideo (puerto) hacia las ciudades más importantes y zonas de producción. La construcción de las primeras carreteras se inicia a finales de la primera década del siglo XX, pero sólo se intensifica a partir de 1928 en sucesivos planes viales. En general imperaban los caminos de bajo costo (calzadas de 5 a 6 m, perfiles adaptados a las ondulaciones del terreno, puentes angostos y sumergibles).

Desde el inicio, las grandes carreteras (p.ej. rutas n1, 5 y 8) buscaron crear una competencia al ffcc, de propiedad extranjera en aquel momento, trazándose paralelamente a las vías férreas. Con ello, se duplicaron servicios en zonas favorecidas, dejando extensas superficies privadas de uno u otro modo. Finalmente, se consiguió que las tarifas ferroviarias fuesen rebajadas, pero las compañías extranjeras abandonaron la renovación de infraestructura y material rodante. Años más tarde, a mitad del siglo XX, se nacionalizaron los ffcc.

La posibilidad del servicio "puerta a puerta", de cargas y pasajeros, y la "accesibilidad" al automóvil, fue aumentando vertiginosamente la importancia del transporte por carretera.

Con el crecimiento del flujo vehicular automotor y de las t por eje, se originó una política de mejoras de los trazados en la década del '50 (ensanches de plataforma, pequeñas variantes planialtimétricas, tratamientos bituminosos sobre capas granulares).

Al "heredar" esa configuración se observan diversos problemas geométricos (anchos insuficientes, extensos tramos trazados con puntos críticos de no adelantamiento, curvas muy "cerradas", puentes angostos) y estructurales.

Durante la década del '80, a los efectos de mejorar las capacidades estructurales, se reconstruyeron las rutas n1,5, 8 y 9. Sin embargo no se realizaron mayores cambios en el resto de las características viales. En la misma década se realizaron los accesos a Montevideo, por el W.

La supresión total de los servicios de pasajeros y de pequeñas cargas, así como la suspensión del uso de aproximadamente un 40% de la red ferroviaria, en enero de 1988, provocó un nuevo auge del transporte automotor. Paradojalmente evidenció aún más algunas de sus deficiencias en la operación, como la edad avanzada de la flota, los accidentes de tránsito, congestionamientos.

Entre las obras de mayor relevancia de los últimos años se encuentran: la Terminal de ómnibus de Montevideo ("Tres Cruces"), la concesión de obra pública de varias rutas (Interbalnearia, 8, 9, acceso al E, etc), el colector Perimetral de Montevideo, nuevo trazado

de ruta n11, etc.

Hoy, la adecuación de nuestro sistema carretero (infraestructura y operación) al MERCOSUR, el transporte de la producción forestal, el transporte de granos (soja, etc) la posibilidad del eje vial son los desafíos, en el transporte carretero, que se muestran como más relevantes.

Otras inquietudes están en torno a la reforma del Estado (definición de objetivos y políticas), análisis de otra terminal de cargas en Montevideo y, la potencialización de la Dirección Nacional de Logística.

### **2.2.2. Características generales**

La infraestructura vial está integrada por la red nacional y las departamentales, a las que debemos agregar las terminales de transporte de pasajeros.

El Estado (Ministerio de Transporte y Obras Públicas a través de la Dirección Nacional de Vialidad) se ha encargado de la planificación y gestión de la Red Nacional. La misma se integra por 8700 Km y 750 puentes. Para cumplir este cometido debe proyectar, construir y mantener las rutas. La planificación de la red y la inversión a realizar son aspectos fundamentales del rol de DNV las cuales realiza con su propio plantel de técnicos. La elaboración de los proyectos se realiza por dos modalidades, directamente por técnicos de la Administración y por contrato con empresas proyectistas.

Las obras y trabajos de mantenimiento de la red se ejecutan de a través de diversas modalidades que se detallan a continuación:

- Por la Administración a través de sus unidades ejecutivas. La DNV ha distribuído en el territorio Nacional 9 Regionales, con equipamiento de maquinaria y personal para ejecutar obras de envergadura menor y mantenimiento rutinario, fundamentalmente sobre la Red secundaria y terciaria.
- Ejecución de obras a través de la contratación de las mismas con empresas constructoras. El tipo de obra que se contrata es variado pueden ser obras importantes sobre Red primaria o obras más pequeñas en el resto de la Red. Dentro de este tipo de contratación entre la mayoría de obras de puentes.
- Ejecución de mantenimiento a través de contratos. Existen básicamente dos tipos de

contratos de mantenimiento: 1- De mantenimiento rutinario, orientados a la ejecución de mantenimiento de conservación y mantenimiento menor de pavimentos, enfocado a empresas de porte pequeño. Se puede o no exigir niveles de servicio. 2-Contratos de reconstrucción y mantenimiento (C.R.E.MA.), son contratos importantes encargados de mantenimiento menor y mayor, que incluyen generalmente obras importantes de reconstrucción .El mantenimiento abarca pavimentos señalización y áreas verdes, algunos incluyen iluminación.En estos contratos se exige el cumplimiento de niveles de servicio.

- Contratos de concesión en los cuales se tranfiere a un privado la gestión integral de su tramo, exigiendo el cumplimiento de niveles de servicio. Las obras nuevas se licitan, al igual que las reconstrucciones y el mantenimiento extraordinario. La DNV, con nueve Zonas de Jurisdicción en todo el país, realiza el mantenimiento de rutina en la mayoría de los casos.

La operación, es decir el movimiento de carga y pasajeros, está a cargo de una multiplicidad de empresas sujetas a diversos controles y reglamentos en la Dirección Nacional de Transportes, también del MTOP.

Para atender los requerimientos financieros el Gobierno Nacional recibe aportes (Ley de Presupuesto, Rendiciones de Cuentas) a través del IMESI a los combustibles y las recaudaciones por concepto de peajes. En 1995, ha comenzado la utilización del sistema de concesión de obra pública para la construcción y mantenimiento (Concesión de la Corporación Nacional para el Desarrollo), Ruta 5 desde los Accesos a Montevideo al 69Km (empresa Hernández y Gonzalez), Ruta 8 desde Pando a Ruta 9 (empresa Caminos de la Sierra), Ruta Interbalnearia,

Las Intendencias Municipales son las encargadas de las obras en vías departamentales y vecinales, financiadas a través de sus presupuestos y/o préstamos del Gobierno Central.

La longitud aproximada de la red vial nacional es de 8.700 km, en su gran mayoría carretera de dos carriles, uno por sentido. De ellos, un 26% poseen un pavimento de tipo superior (hormigón o concreto asfáltico), valor que ha crecido durante los últimos años. Las demás superficies de rodamiento incluyen los tratamientos bituminosos e imprimaciones reforzadas (tipo medio) y la tosca y suelo (tipo inferior). Ver Cuadros correspondientes en el Anuario Estadístico de Transporte.

Las redes departamentales, por otra parte, tienen una extensión total del orden de 60.000 km, de los cuales menos de un 5% posee superficie de rodamiento pavimentada. La mayor parte de la caminería departamental no es utilizable todo el tiempo por deficiente pavimentación o por falta de puentes o, porque los existentes son cubiertos por las inundaciones en épocas de lluvias intensas.

La DNV clasifica a la red nacional por tipo en primaria, secundaria y terciaria.

La red primaria (39% del total, incluyendo todos los tramos con pavimento superior) está constituida por rutas, o tramos de las mismas, que siguen un esquema radial desde Montevideo uniéndola con las demás capitales departamentales y con los puntos de conexión internacional (las más relevantes son la n1 1, 2, 3, 5, 8 y 9). La red secundaria sirve de enlace entre tramos de la primaria y, la terciaria, une entre sí tramos de la anterior y de ésta con los caminos departamentales. En las últimas décadas se idearon y fueron construidos tramos de rutas transversales (rutas n11, 26 y 14).

La mayor densidad de caminos es en la parte sur de la República, particularmente en la zona de influencia de Montevideo.

**EXTENCION DE LA RED**  
**Por IES y Tipo de Firme Año: 2010**  
**Estado de IES**

Firmes	M.Bueno		Bueno		Regular		Malo		Sin Eval.	Total
	Km	%	Km	%	Km	%	Km	%	Km	Km
Hormigon	165	57	85	29	31	11	8	3	0	288
C.Asfaltica	1574	48	786	24	722	22	169	5	0	3250
T.Bituminoso	372	9	746	19	1707	43	1110	28	0	3935
I. Refor	0	0	16	6	117	46	121	48	0	253
Tosca	20	2	500	52	261	27	189	19	0	969
<b>Total</b>	<b>2129</b>	<b>24</b>	<b>2133</b>	<b>25</b>	<b>2838</b>	<b>33</b>	<b>1596</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	<b>8969</b>

- La red cuenta aproximadamente con 750 puentes, de los cuales un 30% son angostos (menor o igual a 7m). A su vez, 80% tienen más de 25 años (35% de la red primaria).

### **2.2.3. Puentes y Pasos de Frontera, comunicación internacional**

Sobre el río Santa Lucía, el puente de hierro, en Santiago Vázquez (ruta n°1), con un tramo giratorio para el paso de embarcaciones, fue el primer gran puente carretero del país y, en su tiempo (su construcción comenzó en 1910 y se inauguró en 1925), el más largo del continente (540 m). En el año 2007 se inauguró un nuevo puente sobre el referido río.

El río Negro fue el primer obstáculo de la comunicación N-S del territorio. El ancho y la profundidad del lecho y sus amplias zonas de inundación han requerido grandes obras para enlazar sus márgenes. A su vez, sus numerosos rápidos y cordones rocosos, fueron aprovechados en bajas aguas como "vados" para cruzarlo. Los principales puentes carreteros son: el de Paso de los Toros ("Centenario", de 1929, ruta n°5), Mercedes (abril 1969, ruta n°2), Andresito (ruta n13) y Paso Aguiar (962m, ruta n126). Asimismo tenemos los coronamientos de las represas de Palmar y Baygorria (rutas n155 y 4, respectivamente).

Los puntos de comunicación internacional son:

Con Argentina, dos puentes sobre el río Uruguay, uniendo Paysandú y Colón ("Gral. José Artigas", dic'75, 2 360m) y Fray Bentos con Puerto Unzué ("Gral. San Martín, set'76, 5 500m). Ambos poseen una "luz central" de suficiente altura sobre el nivel de las aguas para permitir el paso de embarcaciones (34 y 47m, respectivamente).

Un tercer puente, carretero y ferroviario, se encuentra sobre la represa de Salto Grande (ago'82) uniendo Salto y Concordia.

Los tres puentes comunican nuestra red vial del litoral con la ruta n114 del vecino país.

En Colonia, a través de navegación fluvial, cruzando el Río de la Plata.

Con Brasil,

En Bella Unión, un puente que enlaza la ruta n13 con la BR 290, llegando a Porto Alegre. En Artigas, el "puente de la Concordia" une con la ciudad de Quaraí. Ambos sobre el río Cuareim (o Quaraí en portugués).

En la conurbación Rivera-Santana do Livramento, se produce el enlace de la ruta n15 con la BR 158.

En Aceguá, también frontera "seca", pasamos de la ruta n18 a la BR 153.

El puente sobre el río Yaguarón, llamado "Mauá", que une Jaguarao y Río Branco, comunica la ruta n126 con la BR 116.

Finalmente la frontera en el Chuí enlaza la ruta n19 con la BR 471.

Con el mundo, Montevideo, principal puerto del país. Paysandú, Nueva Palmira, La Paloma, puertos. (Referencia 1)

#### **2.2.4. Condiciones de Servicio de la Red Nacional**

Diversos son los factores que pueden ser considerados para evaluar las condiciones de servicio de un sistema carretero: densidades de km por área, población o número de vehículos; velocidades medias de circulación, relación de volúmenes y capacidad, demoras medias, relación de costos de operación y mantenimiento, seguridad, eficiencia administrativa, etc.

La red vial uruguaya cuenta con una densidad de 40 (8700/187) km de red nacional pavimentada por mil km<sup>2</sup> y de 2,3 (8700/3500) km por mil habitantes. Es la mayor densidad de latinoamérica y del orden de la de Francia

A fin de evaluar los volúmenes de vehículos se posee información sobre TPDA y valores horarios, en puestos de peaje y en diferentes tramos de rutas a través de conteos de tránsito.

La Dirección Nacional de Vialidad cuenta con un sistema de conteo automático permanente con puestos distribuidos en el territorio, que ofrece además de la catidad de vehículos por tramo, calificados por tipo, velocidad de circulación y peso por eje, entre otros datos.

Por otra parte, utilizando la metodología que estudiaremos próximamente y a modo de ejemplo, si consideramos un tramo de red con velocidad de proyecto igual a 96 km/h, ancho carril 3,6, banquetas 1,8m, pendientes del 1 al 2%, 20% de lugares con prohibido adelantar, 10% camiones, reparto de tráfico 50/50, surgen intensidades de servicio de (en dos sentidos) 305, 600, 975, 1 578 y 2 545 vehículos/hora , para niveles de servicio A, B, C, D y E respectivamente.

A fin de conocer en que nivel de servicio se encuentra un determinado tramo de red, se

deben comparar los volúmenes obtenidos de los conteos con las intensidades de servicio calculadas.

En general, puede observarse que las relaciones intensidad/capacidad para la mayor parte de la red vial nacional corresponden a niveles de servicio razonables (A hasta C).

No existen mayores problemas de congestión en prácticamente ningún tramo de la red.

Obras como los accesos a Montevideo, Las obras de los accesos a Montevideo (por el W) y la duplicación de la Av. Giannattasio (por el E) solucionaron los existentes (especialmente en los fines de semana y durante los meses de verano).

La modificación de la ruta 1 y la duplicación de los tramos de acceso a las playas del E, permiten tener buenas condiciones de servicio durante algunos años (de mantenerse los patrones actuales de crecimiento y estructura de la red).

Recientemente se ha realizado una serie de obras que apuntan a solucionar problemas de congestión y seguridad, las mismas se detallan a continuación:

- Doble vía de ruta 1 hasta Colonia
- Doble vía de Ruta Interbalnearia desde Ao. Pando hasta Ruta 101
- Doble vía de Ruta 102
- Anillo perimetral de Montevideo.
- By Pass de Pando por Ruta 8.

El mayor problema lo presentan los accidentes de tránsito: más de 100 personas mueren al año en rutas nacionales por ese motivo.

Si bien básicamente, el factor más influyente es el comportamental, ya que más del 80% se deben a imprudencias de conductores, aún persisten puentes angostos, curvas cerradas y tramos de poca visibilidad o mal señalizados, que contribuyen a dicha siniestralidad.

Otra situación negativa está vinculada al pasaje de las rutas por áreas urbanizadas (Durazno, Pan de Azúcar, San Carlos, Trinidad, Minas, etc.). A pesar de estar en contradicción con el inciso 51 del art. 131 de la Ley de Centro Poblados, las rutas "atraviesan" las ciudades convirtiéndose en un elemento separador y causante de siniestros.

No se disponen de estudios sistemáticos sobre otros indicadores.

### **2.3. TERMINALES DE PASAJEROS**

Los sistemas colectivos de transporte cuando son importantes requieren instalaciones terminales adecuadas que intermedien entre el medio de transporte y la ciudad.

Hace ya muchos años que se construyeron grandes estaciones terminales ferroviarias, carreteras y de metro, por ejemplo todavía funciona correctamente la Estación Central de Nueva York iniciada en el año 1903 la que tiene mayor afluencia de viajeros en el mundo, más de medio millón de personas en el día.

Por razones de circulación resulta conveniente eliminar de la vía pública urbana, las operaciones de espera, subida y bajada de los pasajeros.

Las principales ventajas que pueden obtenerse de una estación terminal de ómnibus son las siguientes:

- se mejora el nivel de servicio de transporte interurbano por carretera, dotando al pasajero de servicios y comodidades que son normales en el transporte de ferrocarril y aéreo.
- se elimina de la vía pública la detención prolongada de ómnibus y la aglomeración de pasajeros en condiciones inadecuadas.
- se facilita el control del transporte y la información al pasajero en cuanto a horarios, recorridos, etc.

Entre los inconvenientes y dificultades para su construcción y explotación figuran un costo importante que puede repercutir en el precio del transporte, dificultades que surgen entre las empresas transportistas las que tienen un mayor control desde el punto de vista técnico y fiscal y por último la dificultad de encontrar emplazamientos adecuados.

Las condiciones que ha de cumplir fundamentalmente la ubicación de una estación terminal para ómnibus son:

- buena conexión con las grandes arterias de la ciudad
- buena conexión para los viajeros con las zonas origen/destino dentro de la

ciudad a través de la red vial y transportes públicos urbanos

- espacios suficientes para los viajeros y para el público general.

Por sus características las terminales de pasajeros se suelen clasificar en:

- **Urbanas** que requieren importantes áreas de estacionamiento para buses y pocos servicios
- **Metropolitanas** que también requieren grandes áreas de estacionamiento para buses (considerar fenómenos de estacionalidad, etc) y algunos servicios para los pasajeros
- **Interurbanas** que requieren gran variedad de servicios para los pasajeros (higiénicos, gastronomía, esparcimiento, estacionamientos para automóviles, etc) instalaciones para el transporte de pequeñas cargas.

Para el dimensionamiento de una terminal, en principio, ha de considerarse los tres aspectos siguientes:

- determinación de cuál a de ser el servicio de la terminal, que puede servir para todo una ciudad o un sector de la misma.
- determinación de número y frecuencias de las líneas a las que va a servir la terminal una vez conocidos los accesos por carretera a los que se destina.
- una vez conocidas las líneas y su tipo deberá definirse cuál es el número de andenes. Para ello habrá que considerar los tiempos de embarques y desembarques de pasajeros, que en principio pueden estimarse en 5 y 10 minutos respectivamente.

Con respecto a la ubicación de los andenes, el principio general consiste en la separación de las corrientes de tránsito evitando que los ómnibus parados obstaculicen el paso de los que entran y salen de la terminal. Su disposición puede ser variada, a saber:

- circulación con un sentido o dos sentidos
- ubicación longitudinal dentada
- alvéolos inclinados
- dársenas transversales
- dársenas que permiten la salida sin maniobras hacia atrás
- otras.

Es importante evitar que los pasajeros crucen las calzadas destinadas a los ómnibus. Ello es fácil si sólo se dispone de una batería de andenes o bien si los mismos rodean una zona central con acceso desde otro nivel.

Con respecto a la construcción de las estaciones terminales las mismas podrán ser realizadas por el Estado o por particulares en la modalidad de concesión de obra pública.

En el caso de nuestro país, se construyeron en Montevideo dos terminales de ómnibus, una para líneas suburbanas (al N del Centro y E de la Ciudad Vieja) y otra en la zona de "Tres Cruces", para interdepartamentales de corta, mediana y larga distancia, junto con las internacionales (33 andenes más 10 de espera, más de diez millones de pasajeros al año, inaugurada en nov/94).

Por otra parte se han construido varias terminales en departamentos del país.

## 2.4. ESTACIONES DE CARGA

La actividad del transporte de carga se apoya en infraestructuras continuas como el sistema ferroviario y de carretera y en infraestructuras modales como puertos, aeropuertos y terminales de carga.

El transporte de carga puede ser de diferentes tipos:

- desde fuera de una ciudad a una zona interior de la misma
- entre zonas interiores de una ciudad
- desde la ciudad a una zona exterior.

En el marco de una economía globalizada la actividad del transporte y la logística constituyen un factor clave de competitividad de la economía de un país.

Una de las formas de resolver la dificultad de transporte puede ser la construcción de estaciones terminales de carga. En estas se plantean varios servicios a saber:

- instalaciones para el control de aduana y transporte
- instalaciones para el control fito y zoonosanitario
- depósitos abiertos y cerrados
- naves de consolidación desconsolidación de cargas con dársenas para recibir o expedir mercancías
- conexión ferroviaria
- oficinas de empresas de transporte y agentes de carga
- servicios para tripulantes y vehículos

Si bien teóricamente se podría así eliminar parte del tráfico pesado de una ciudad, hay una parte importante que no puede evitarse (construcción, combustible, grandes almacenes de alimentación, maquinaria pesada, etc.). Los servicios de puerta a puerta, una de las facilidades más interesantes del autotransporte, resultaría también perjudicado si se exige que en todos los casos la autorización de una terminal.

Si embargo existen determinados tipos de transporte pueden mejorarse considerablemente, entre ellos figuran los de larga distancia que realicen paradas intermedias, los que requieren

una distribución adicional desde grandes camiones a vehículos medios o pequeños lo que es relativamente normal en las agencias de transporte.

Las beneficios derivados del uso de una terminal de cargas pueden ser varios:

- reducción de costos de transporte por disminución de tiempos muertos en los pasos de frontera y de recorridos vacíos de la ciudad.
- ahorros en manipulación de cargas.
- ubicación conjunta con empresas del sector, lo que permite la interrelación entre ellas.
- al aumentar las inversiones en infraestructura y equipos de transporte se ejercen influencias positivas y permanentes en el empleo.
- reducción del impacto de la circulación de vehículos pesados en la ciudad con la consiguiente reducción de accidentes, ruidos y contaminación.

## **2.5. BIBLIOGRAFIA**

### **Referencias**

1- DIRECCION NACIONAL DE TRANSPORTE,"Anuario Estadístico de Transporte-2013", M.T.O.P., Montevideo.

### **Generalidades**

- Instituto Nacional de Estadística,"Síntesis Estadística", 1993 y siguientes.
- O.E.A.,"El Transporte en la Cuenca del Plata", Washington D.C., 1985.
- MARTÍNEZ, I,"Geografía 2 Uruguay", 1986.
- TABASSO, C.,"Fundamentos del Tránsito", Vols. 1 y 2, Buenos Aires, 1995.
- BARRACHINI, H.,"Historia de las comunicaciones en el Uruguay", Montevideo.
- FORTEZA, A.,"Apuntes de CAMINOS", Facultad de Ingeniería, 1992.
- Varios,"Territorio: Apuesta al futuro".
- VILLEGAS BERRO, F.,"La evolución de las autonomías en la historia nacional", opus cit.
- Asociación Uruguaya de Caminos,"Situación de la Vialidad Uruguaya".
- DNV, Listado de puentes (con ruta, tramo, Zona, km, longitud y ancho, carga, estado y tipo de estructura) y red primaria (con zona, ruta, tramo, descripción, firme calzada, estado banquina, evaluación superficial, evaluación de comodidad).
- DNV,"Plan de obras" (con ruta, tramo, Departamento, tipo de obra, año).
- TEC asociados,"Mapa político de la R.O.U.", 1994/5.

## **CAPITULO 3**

### **3.1. GENERALIDADES**

Parece innecesario decir que las características de los vehículos tienen gran importancia en el tráfico. Aunque en muchos casos los movimientos de un vehículo y su influencia en el tráfico dependen más de la habilidad de quien los conduce, entre otros efectos que si se deben exclusivamente al vehículo.

Los vehículos que actualmente se fabrican están destinados a diversos usos, por lo que su peso, dimensiones y maniobrabilidad, varían de acuerdo con estos usos, pero en todo caso condicionan las características de trazado y resistencia de las vías.

Los vehículos se clasifican generalmente por su tamaño, peso y movilidad. Según esto, pueden clasificarse en cuatro tipos esencialmente distintos: bicicletas, automóviles, pesados y especiales.

#### **Biciclos**

Las motos, ciclomotores y bicicletas forman parte de este grupo. Dadas sus reducidas dimensiones y gran movilidad, su presencia en el tráfico no suele tener gran trascendencia en cuanto a la capacidad de las vías, a no ser que se encuentren en elevada proporción, como ocurre en las ciudades muy llanas y en determinadas zonas agrícolas. Sin embargo, la influencia de estos vehículos en los accidentes suele ser considerable.

#### **Automóviles**

Pertenecen a este grupo los vehículos de cuatro ruedas destinados al transporte de pocas personas o de mercancías ligeras.

Suelen incluirse en este grupo los vehículos destinados al transporte y reparto de mercancías no muy voluminosas y cuya carga útil no sea superior a 2 toneladas (camionetas).

Este grupo de vehículos es el más importante desde el punto de vista del tráfico, ya que su participación en el mismo es casi siempre superior a la de los demás vehículos. Por esta razón sus características son las que más condicionan los elementos relacionados con la

geometría de la vía y con la regulación del tránsito.

## **Pesados**

Estos vehículos suelen constituir una parte importante, aunque no mayoritaria, del tráfico. Sus dimensiones y pesos son muy superiores a los del resto de los vehículos y están destinados generalmente al transporte de mercancías pesadas o voluminosas o al transporte colectivo de pasajeros. A este grupo pertenecen los camiones en general y los ómnibus.

Los camiones se clasifican en:

- vehículo simple: unidad de transporte automotora independiente.
- combinación de vehículos: conjunto compuesto por una unidad tractora y un semirremolque.
- Tren de vehículos: conjunto compuesto por un camión y un remolque (acoplado).

Generalmente estos vehículos condicionan los elementos resistentes de la vía, pavimentos, obras de arte y gálibos.

En clase se hace una pormenorizada descripción de cada tipo de vehículo pesado, observando diferentes catálogos, etc.

Se analiza la estructura de los vehículos (vigas longitudinales y transversales), planta motriz, transmisión, suspensión, frenos, constitución de tipo de ejes.

Asimismo se realiza el cálculo de descargas al pavimento de los diferentes tipos equipos de carga.

## **Especiales**

Pueden incluirse en este grupo aquellos vehículos que, aún no encontrándose en gran número, pueden afectar sensiblemente el tráfico a causa de sus grandes dimensiones o de su lentitud de movimiento. A este grupo pertenecen los tractores agrícolas, equipos gigantes de transporte, maquinaria vial, etc.

Las vías no se dimensionan para ser utilizadas por este tipo de equipos de gran peso o volumen, los cuales tendrán que adaptar sus itinerarios a aquellas que puedan soportar su paso.

### **3.2. PARQUE VEHICULAR NACIONAL**

Según datos de las Intendencias municipales la flota consta aproximadamente de 70000 camiones, tractores, remolques y semi, 6300 ómnibus, más de 650000 autos y camionetas y 400000 motos y ciclomotores. (Ref.1)

La tasa de motorización a nivel nacional (habitantes por automóviles y camionetas) está entre 7 y 8.

Al no existir en el país un registro único de automotores (art. 51 del Reglamento Nacional de Circulación Vial), los datos suministrados por las Intendencias Municipales, adolecen de falta de homogeneidad, fundamentalmente en lo relativo a los criterios de depuración y de clasificación por tipo.

Con respecto a la antigüedad del parque, más del 50% de los vehículos registrados en Montevideo son del año 1980 o más recientes. El interior posee un porcentaje inferior.

Las características globales más salientes de los últimos años, han sido:

- El crecimiento acelerado, alcanzándose cifras excepcionales de venta de vehículos 0 km en los últimos años. Este crecimiento presenta una gran correlación con el del PBI.
- La renovación de la flota de ómnibus carreteros y urbanos. Ambas extremamente necesarias dada la avanzada edad, y favorecida (la primera) por el cierre de servicios de pasajeros de AFE.

El conocimiento de la flota de transporte de cargas del país era hasta el año 1985 limitado y surgía de los datos brindados por las Intendencias Municipales en relación con el parque registrado en las mismas. Incluía todos los vehículos, entre otros los que están afectados exclusivamente a servicios urbanos.

En 1986, con objeto de obtener la información base necesaria para conformar un registro que dispusiera: número de unidades por tipo y las principales características (dimensiones, capacidad de carga, naturaleza y cantidad de ejes, marca, modelo, año), se realizó un censo nacional de estos vehículos de más de 5 t de capacidad.

En 1995, se da en concesión a una empresa la Estación de Control de Vehículos de transporte ("pesados", carga y pasajeros).

La misma está ubicada en ruta Nº5, km16 y cuenta con 3 líneas de inspección. Además se dispone de dos Plantas móviles que recorren el país de acuerdo a cierto calendario preestablecido.

La empresa chequea el vehículo de acuerdo a un Protocolo denominado Manual de Inspección Técnica y otorga un Certificado de Aptitud Técnica (CAT) que incluye controles de: acondicionamiento exterior e interior, carrocería, luces e iluminación, frenos, dirección, ejes y suspensión; chasis, motor y transmisión; tacógrafos.

### **3.3. PESOS Y DIMENSIONES**

El ancho de los carriles, la altura libre existente en las estructuras bajo las que pasa la vía, así como otras características geométricas de la misma, limitan las dimensiones de los vehículos. De la misma manera, estas dimensiones imponen unas características geométricas mínimas a la vía.

La interdependencia entre la vía y el vehículo tiene también un lugar en lo referente a los pesos totales o por eje que afectan esencialmente al tipo y resistencia de los pavimentos y a la resistencia de las estructuras.

Los distintos países en el mundo tienen limitaciones de pesos y dimensiones para cada tipo de vehículo.

#### **3.3.1. Antecedentes**

El Reglamento Nacional de Circulación Vial aprobado por el Decreto 118/984 del Poder Ejecutivo de 23 de marzo de 1984 constituye el texto orgánico para regular el tránsito por las rutas nacionales. Sustituyó el Reglamento Nacional de Tránsito aprobado por Decreto del Poder Ejecutivo del 7 de abril de 1949 y numerosas normas modificativas posteriormente dispuestas.

Dicho reglamento estableció normas precisas en lo referente a dimensiones de los vehículos en el Capítulo VI, mientras que el Decreto 326/86 y modificativos estableció los pesos brutos máximos por eje y vehículo.

#### **3.3.2. Elementos a considerar para la reglamentación de pesos y dimensiones**

El análisis de una reglamentación de cargas y dimensiones de vehículos automotores requiere tener en cuenta aspectos generales y particulares del país, siendo los principales los siguientes:

- 1) Las tendencias generales y regionales, no sólo para atender la conveniencia de poder llegar a reglamentaciones por lo menos regionales, sino también porque el Uruguay no es fabricante de vehículos de transporte, por lo que debe tender al uso de vehículos de construcción normal en el mercado internacional, y por lo tanto de costo más ajustado y competitivo.

- 2) Las características geométricas de la red vial que dependen de condicionantes económicas y de la topografía y geotécnica de la zona en que se desarrolla. En general el trazado de los caminos del Uruguay es bueno no presentándose curvas que creen problemas a la circulación de los camiones. La única dificultad en ese sentido puede llegar a estar creada por las calles de ciudades o pueblos atravesados por la carretera o donde tengan origen o destino las cargas, ya que hasta el momento no se han establecido centrales de carga para su distribución en los núcleos urbanos. No existen tampoco pendientes muy pronunciadas ni muy largas como para requerir un control especial de la relación peso-potencia de los camiones.

En cuanto a los anchos de calzada y plataforma de los camiones, si bien los tramos más modernos tienen pavimentos con anchos entre 7.00 y 7.50 y banquetas amplias, una parte importante, de la red está integrada por caminos con pavimentos de 6.00 metros y aún de 5.50 m, lo cual no da condiciones seguras de cruce con vehículos anchos.

- 3) Otro elemento a tener en cuenta pueden ser las limitaciones de altura libre disponible. No existen en el país túneles carreteros, y los cruces a distinto nivel han sido construidos en general dejando un galibo libre de 4.20 m. Tampoco los contraventamientos superiores de algunos puentes crean limitaciones de altura con respecto al valor máximo de 4.10 m admitido por la Reglamentación.
- 4) Una limitante importante con respecto a las cargas máximas por eje está constituida por la estructura de los pavimentos. Si bien la carga de 10.5 t para el eje simple ha sido permitida por las diversas reglamentaciones establecidas en el país, la frecuencia de las mismas ha aumentado considerablemente en los últimos decenios. Los pavimentos más modernos han sido correctamente dimensionados, pero hay muchos tramos con pavimentos deficitarios tanto en lo referente a espesores como calidad de materiales, de ahí que sea este uno de los factores que debe ser tenido en cuenta al analizar la reglamentación de cargas.
- 5) Otro elemento de fundamental importancia para el análisis de las cargas máximas admisibles es el estado de los puentes y otras estructuras y las cargas móviles consideradas para su diseño. Sobre este punto cabe expresar que si bien los puentes más modernos han sido proyectados para las cargas AASHO H20 S16 y DIN36, la mayoría de los puentes construidos antes del 1950 fueron diseñados con la carga AASHO H15 bastante inferior a aquellas, a lo que deben sumarse los efectos de la antigüedad y problemas de falta de mantenimiento a dicha estructura.

- 6) También debe tenerse en cuenta las posibilidades existentes de un debido control de las cargas que realmente transitan por las carreteras. Actualmente se cuenta con un sistema de pesaje por el mecanismo de concesión a una empresa privada que tiene los varios puestos fijos cuyas características y ubicación pueden verse en planos y planillas del Anuario Estadístico de Transporte 2012.

En los mismos están instalados equipos de pesaje dinámicos de alta y baja velocidad. Los de alta velocidad están instalados en el medio de la ruta y en el caso de detectar un vehículo con exceso de peso lo desvían al equipo de baja velocidad para su control final.

Por otra parte el MTOP cuenta con balanzas en los pasos de frontera Fray Bentos, Rio Branco, Chuy y en la localidad de San Manuel próxima a la ciudad de Paysandú.

Por último cabe expresar que pueden utilizarse equipos de control de pesos móviles.

- 7) Las reglamentaciones deben tener en cuenta también las necesidades de transporte del país, contemplando la utilización de los vehículos más adecuados a las cargas a transportar. Estas en el Uruguay no tienen en general suficiente importancia para justificar el empleo de camiones extremadamente grandes para lograr un transporte más económico. No hay un transporte permanente de minerales. Las cargas más importantes son las derivadas del sector agrícola y luego del pecuario, siendo fundamentalmente las primeras de carácter zafral. Por lo tanto para lograr una mayor ocupación de los camiones, éstos deben ser versátiles y adecuados a distintos tipos de cargas. Sin perjuicio de lo expuesto deberá analizarse en un futuro el caso del transporte forestal para el cual equipos de mayor porte pueden resultar necesarios.
- 8) Finalmente deben tenerse en cuenta las vinculaciones internacionales con los países del área, que generan tránsitos comerciales y turísticos. Este factor es de indudable importancia para el Uruguay dadas las relaciones con los países del MERCOSUR, cuyo parque de vehículos es de gran importancia y con dimensiones y pesos elevados, proporcionados al transporte por carretera que se realiza en los mismos. La necesidad de una reciprocidad en los transportes es un hecho que indudablemente debe influir en las reglamentaciones de tránsito.

### **3.3.3. Dimensiones máximas de los vehículos**

El Decreto 134/998 artículo 1, modificativo del Reglamento Nacional de Circulación Vial, establece las dimensiones máximas para vehículos normales de circulación general incluida carga y aditamentos de acuerdo a los siguientes valores:

- Ancho: dos metros con sesenta centímetros (2.60 m)
- Alto: cuatro metros con diez centímetros (4.10 m)
- Largo:
  - Camión simple, trece metros con veinte centímetros (13.20 m)
  - Camión con remolque, veinte metros (20 m)
  - Camión tractor con un semirremolque, dieciocho metros con quince centímetros (18.60 m)
  - Omnibus de corta, media y larga distancia, catorce metros (14 m)
  - Omnibus articulados, dieciocho metros (18 m)
  - Omnibus urbanos y suburbanos, trece metros con veinte centímetros (13.20 m). En este tipo de vehículos todas las dimensiones máximas pueden ser menores en función de la tradición e infraestructura de la ciudad.

Para los vehículos especiales de circulación restringida se prevén dimensiones especiales.

### **3.3.4. Cargas máximas de los vehículos**

El Decreto 326/986 de 25 de junio de 1986 y modificativos establecen los pesos máximos permitidos a los vehículos.

Los ejes que componen un vehículo como se vio anteriormente, se pueden clasificar en:

-Eje simple: eje aislado con suspensión independiente

-Eje múltiple: sistema formado por dos o tres ejes con suspensión integral que asegura que los pesos de los distintos ejes respondan a una distribución preestablecida. Pueden ser homogéneos o no según que cada uno de sus ejes constituyentes tengan la misma cantidad de neumáticos.

Los pesos máximos autorizados a los vehículos resultarán de la aplicación simultánea de los límites de peso que preserven a los pavimentos y obras de arte (puentes y alcantarillas) así

como por razones de seguridad, aquellos que surjan de la capacidad resistente de los distintos componentes que constituyen un vehículo: estructura, neumáticos, potencia, etc.

Desde el punto de vista de la infraestructura los pesos brutos máximos por eje autorizados en nuestro país son los siguientes:

- a) Eje simple de dos neumáticos: 6.000 kg (seis mil kilogramos).  
Eje simple de cuatro neumáticos: 10.500 kg (diez mil quinientos kilogramos).  
La separación entre dos ejes simples consecutivos deberá ser mayor o igual a 2,40 m (dos metros cuarenta centímetros).
- b) Ejes dobles homogéneos: eje múltiple constituido por dos ejes de 4 neumáticos o 2 dos neumáticos cada uno con una separación mínima de 1.20 m.
  - b1) Eje doble homogéneo de ocho neumáticos: 18.000 kg (dieciocho mil kilogramos).
  - b2) Eje doble homogéneo de cuatro neumáticos: 10.000 kg (diez mil kilogramos).
- c) Ejes dobles no homogéneos: es un eje múltiple constituido por dos ejes, de 4 neumáticos y dos neumáticos respectivamente, con una separación mínima de 1.20 m.  
Eje doble no homogéneo de seis neumáticos: 14.000 kg (catorce mil kilogramos).
- d) Ejes triples homogéneos: eje múltiple constituido por 3 ejes de 4 neumáticos y 2 neumáticos cada uno, con una separación mínima de 1.20 m entre dos consecutivos.
  - d1) Eje triple homogéneo de 12 neumáticos:
    - 25.500 kg (veinticinco mil quinientos kilogramos) en corredores debidamente identificados donde las obras de arte lo permiten.
    - En el resto de la red vial nacional: 22.000 kg (veintidós mil kilogramos).
  - d2) Eje triple homogéneo de seis neumáticos: 15.000 kg (quince mil kilogramos).
- e) Asimismo de acuerdo a las características de las obras de arte, se limita la carga total del vehículo o combinación o de cualquier conjunto de ejes consecutivos integrantes del mismo de acuerdo a la distancia entre los ejes extremos. Ello se realiza mediante una tabla que vincula pesos y longitudes estableciéndose un máximo total de 45 toneladas.

Cabe agregar que la reglamentación prevé que los pesos máximos por eje y bruto total no

superen los valores máximos establecidos por sus fabricantes.

Además debe considerarse los pesos máximos que asignan las distintas normas nacionales e internacionales a los neumáticos en función de su tamaño, tipo, ubicación, etc.

Por último la normativa prevé que el peso bruto total de un vehículo simple, combinación o tren de vehículos será tal que la relación potencia/peso sea mayor a 4.5 CV/t según norma DIN 70020. Ello por razones de circulación y seguridad en el tránsito.

Los pesos máximos permitidos deberán ser respetados en todo momento durante la circulación normal de los vehículos, debiendo contar éstos con los mecanismos necesarios para hacerlo posible.

Normalmente en todos los países los transportistas, buscando una reducción de sus costos abogan por un aumento de la carga por eje. Ello trae como consecuencia la necesidad de un refuerzo en los pavimentos, ya que influye más el aumento de carga por eje que la disminución de correlativa de frecuencia de ejes. (Recordar métodos de diseño de pavimentos). De lo contrario se produciría una destrucción prematura de los pavimentos, a lo cual sería especialmente sensible la red vial de Uruguay, caracterizada en una parte importante de su extensión por cierta debilidad estructural.

El estudio de la carga óptima por eje es planteable económicamente considerando los efectos sobre los costos de circulación de los vehículos y de construcción y mantenimiento de las carreteras. Si bien teóricamente este análisis es posible, se ha encarado en muchos países, la sensibilidad del planteo ante parámetros de difícil determinación no ha permitido llegar a soluciones cuya validez sea reconocida por los diversos sectores, provocando discusiones no resueltas por los distintos puntos de vista que los motivan.

En el caso de nuestro país la demanda interna de transporte no parece justificar un aumento de carga por eje. Se entiende adecuada la carga máxima de 10.5 t para el eje simple, la cual por otra parte es la más corrientemente admitida.

En lo referente al eje tándem es que su carga máxima provoque sobre la estructura del camino un efecto similar al del eje simple. De los resultados derivados del ensayo AASHO se justifica un valor de 18 t, que es el valor más comúnmente adoptado en otros países en correspondencia con el eje de 10.5 t.

El eje triple es de utilización relativamente nueva y esta reglamentado sólo en algunos países del mundo. Su peso máximo debe estar relacionado con el eje simple, aunque también es importante su efecto en puentes de luz reducida por la concentración de carga que provoca.

La carga máxima aceptada en el Uruguay para el eje triple es de 25.5 t, valor que produce en la infraestructura del pavimento un efecto semejante al del eje sencillo de 10.5 t, pero es elevada si se tiene en cuenta el efecto de carga concentrada provocada en los puentes de diseño antiguo. Por ello ese valor queda reducido a 22 t en aquellos itinerarios (no corredores) que poseen puentes fusibles en su trayecto. De todos modos esta carga de 25.5t es el menor valor que tiene sentido establecer si se admite el eje triple, no sólo por razones de reciprocidad sino porque si se bajara más esta configuración sería sustituida con ventajas con la utilización de dos ejes dobles en el semirremolque.

En lo que respecta a las cargas máximas admitidas para equipos la reglamentación lo limita mediante la carga máxima de 45 t y una relación entre carga y separación de ejes. Considerando el punto de vista de los pavimentos podría llegar a considerarse como excesivamente moderada esta limitación que está por debajo de un promedio ponderado de varias reglamentaciones de países. Sin embargo, es proporcionado a las demandas de transporte del país y tiene la virtud de impedir que el parque vehicular se integre con unidades de tamaño excesivo. Desde el punto de vista del tránsito en el MERCOSUR permite la circulación de vehículos con su capacidad máxima.

Sin perjuicio de lo expuesto no puede dejarse de tener en cuenta el problema planteado por varios puentes antiguos diseñados para carga reducida. En muchos casos realizados los estudios correspondientes, la carga máxima admitida por la reglamentación genérica supera en forma importante su capacidad resistente. Ello da motivo a un plan de obras para la creciente sustitución o refuerzo de los mismos.

### **3.4. REFERENCIAS**

1- D.N.T., "Anuario Estadístico de Transporte 2013", M.T.O.P., Montevideo, 2013.  
También del '81 al '06.

#### **Generalidades**

- O.E.A., "El Transporte en la Cuenca del Plata", Washington D.C., 1985.
- Ministerio de Industria y Energía, "Balance Energético Nacional 1990".
- Folletos de empresas fabricantes de chasis, carrocerías de ómnibus y camiones (Mercedes-Benz, Volvo, Scania, etc.)
- I.M.de Montevideo, "Análisis de la situación de movilidad y vialidad del Departamento de Montevideo. Diagnóstico y propuesta", 1994.
- Reglamentaciones citadas.

# **CAPITULO 4**

## **4.1. CARACTERISTICAS DE LA CIRCULACION**

### **4.1.1. Estudio de la Circulación**

El objetivo del estudio de la circulación es deducir las relaciones que existen entre sus características (por ejemplo, velocidad de los vehículos o número de vehículos que circulan por unidad de tiempo) y el trazado de la red, o las normas de regulación que se utilicen.

Para obtener los datos necesarios se han desarrollado una serie de técnicas de medida, utilizando sistemas y aparatos de medición relativamente sencillos. Sin embargo, dado el gran número de datos necesarios en muchos estudios, su manejo y análisis puede ser muy costoso. El desarrollo de la informática y de instrumentos electrónicos ha permitido la utilización de medios de medida más complicados y mayor número de datos.

Para estudiar las características de la circulación, se emplean unas magnitudes que recogen los aspectos más importantes. Las empleadas más frecuentemente son el tránsito que define el número de vehículos que pasa por unidad de tiempo, y la velocidad de los vehículos. Menos frecuentemente se utilizan la densidad (número de vehículo por unidad de longitud), la separación entre vehículos sucesivos, etc.. Entre estas magnitudes existen relaciones que es necesario conocer para estudiar las características del tráfico en distintas circunstancias.

### **4.1.2. Principales Características de la Circulación**

#### **4.1.2.1 Intensidad de Tránsito**

##### **Definiciones**

Se llama intensidad de tránsito al número de vehículos que pasa a través de una sección fija de la carretera por unidad de tiempo. Las unidades más usadas son vehículos/hora y vehículos/día. Cuando se emplea como unidad vehículos/hora se habla de tránsito horario, y cuando se utiliza vehículos/día se habla de tránsito diario.

Es la característica más importante ya que las demás dependen de ella y define el tipo de carretera o las medidas de regulación que han de utilizarse. Para medirla, como se verá más adelante, se realizan conteos en determinadas secciones de la carretera, bien manualmente, bien automáticamente utilizando aparatos contadores. Estos conteos se efectúan durante períodos más o menos largos, y se obtiene así un registro de los valores del tránsito durante dichos períodos.

La variación del tránsito a lo largo del tiempo presenta gran importancia. Como valor

representativo del mismo durante el período de medida, se suele adoptar el tránsito diario (u horario si el período de medida es menor que un día) medio de todos los registrados. Generalmente el período de conteo se extiende durante un año, y el tránsito medio diario durante el año (TPDA) es la magnitud más utilizada para caracterizar el tránsito en las carreteras, y se puede definir como el número total de vehículos que ha pasado por una sección de la carretera durante un año determinado dividido por 365.

El TPDA define la importancia de las distintas vías y permite su clasificación. Sirve además de base para elaboración de estadísticas, estudio de las tendencias y evolución del tráfico, estudios económicos y para relacionar el tráfico con otras magnitudes.

### **Variaciones de Tránsito**

El tránsito de cualquier carretera varía a lo largo del tiempo siguiendo una ley que puede considerarse formada por una tendencia a largo plazo, a la que se superponen unas oscilaciones cíclicas (anuales, semanales y diarias) y unas variaciones puramente aleatorias. Aunque la forma y magnitud de estas oscilaciones varían de unas carreteras a otras, el fenómeno es análogo en todas ellas y pueden estudiarse separadamente las características de estas componentes de las variaciones de tráfico.

Al estudiar los tránsitos medios diarios anuales (TPDA) correspondientes a una serie de años, se observa en la mayoría de las carreteras una tendencia creciente. Durante un corto número de años (por ejemplo, 5 años) se puede suponer la tasa de crecimiento constante, por lo que el TPDA anuales formarán una progresión geométrica. En períodos más largos, la tasa de crecimiento puede presentar variaciones importantes y la aproximación anterior no será aceptable.

Este crecimiento general de los tránsitos es principalmente debido al aumento de población, del PBI y del grado de motorización. Es particularmente elevado cuando se presenta un fuerte desarrollo económico, lo que trae consigo un mayor aumento de población y de motorización. Este es el caso por ejemplo de grandes áreas metropolitanas, zonas de desarrollo industrial, turístico, etc.. Por el contrario, será mucho menos importante e incluso puede presentarse una tendencia decreciente en zonas en regresión, como zonas rurales en las que exista una fuerte emigración o en épocas de crisis económica. También será decreciente en algunos casos excepcionales, como el que se presenta cuando se construye una autopista alternativa de una carretera existente de trazado antiguo, registrándose un decrecimiento brusco en esta última.

Para estudiar las variaciones de período anual se pueden obtener los tránsitos medios diarios durante cada uno de los meses del año (o semanas). Generalmente estos tránsitos son mayores durante los meses de verano (especialmente en enero) y son menores en los meses de invierno. El aumento durante el verano es mucho mayor en carreteras de zonas turísticas y menor en zonas industriales. La excepción a este tipo de oscilación se presenta

en las calles de grandes ciudades (que no sean de veraneo), en las que el tránsito es casi constante durante el año, con una disminución apreciable en los meses de verano.

Dentro de la semana se presentan diferencias entre la circulación en los días laborables y en los festivos. En muchas carreteras y en la mayoría de las calles en ciudades, el tránsito en día festivo es mucho menor que en el resto de los días de la semana, siendo la de los sábados no muy diferente a la de los demás días laborables. Por el contrario en carreteras de tipo turístico, especialmente en cercanías de grandes ciudades, el tránsito durante sábados y domingos es mucho mayor que durante el resto de los días de la semana, siendo aún mayor el domingo que el sábado. Este fenómeno es más marcado durante los meses de verano, pero se suele presentar durante todo el año.

Si se obtienen los tránsitos horarios se puede estudiar su variación diaria. Durante la noche las intensidades son muy bajas, presentándose un valor mínimo generalmente entre las 3 y las 5 de la mañana. La intensidad horaria crece después muy rápidamente hasta las 8 o 9 de la mañana.

A partir de esta hora la evolución depende del tipo de vía y de su emplazamiento. En las vías urbanas, el nivel se mantiene después prácticamente constante (con un pequeño aumento hacia la 1 o 2 de la tarde, y una disminución entre las 2 y las 4) hasta las 8 o 9 de la noche que comienza a disminuir rápidamente.

En los accesos a las grandes ciudades se presenta a las 8 o 9 de la mañana una intensidad punta muy marcada, que luego disminuye rápidamente hasta un valor medio que se mantiene casi constante hasta las 5 o 6 de la tarde en que se vuelve a presentar otra punta análoga a la de la mañana, para disminuir rápidamente a partir de las 7 u 8 de la tarde.

En carreteras (fuera de zona urbana), el tránsito horario sigue aumentando más lentamente hasta las 11 o 12 de la mañana en que alcanza un valor máximo; disminuye después hasta alcanzar un mínimo a las 3 de la tarde, con otro máximo a las 7 u 8 de la tarde, para disminuir luego rápidamente. Dentro de estas formas generales se presentan como es lógico, muchas variantes debido a condiciones locales y ocasionales.

También se puede medir el tránsito durante períodos menores de una hora, por ejemplo durante un cuarto de hora o cinco minutos, y estudiar las variaciones a corto plazo que se producen dentro de cada hora. Estas fluctuaciones son principalmente aleatorias, debidas a la variabilidad estadística del tráfico. En general, para todos los fines prácticos basta con considerar los tránsitos horarios, ya que si la carretera está dimensionada teniendo en cuenta el mismo, las fluctuaciones estadísticas de menor duración no causarán mayores problemas.

Sin embargo hay situaciones en las que es necesario tener en cuenta estas variaciones, especialmente en vías urbanas y semiurbanas en que durante un período corto puede producirse una congestión cuyas consecuencias se sufrirán durante un plazo mucho más

largo. Para tener en cuenta estos efectos se divide el tránsito horario durante estas picos por un factor, conocido como factor de hora pico, para tener en cuenta estas variaciones a corto plazo.

### **Distribución de frecuencias de tránsitos horarios**

Los tránsitos horarios son los que definen las características de la vía que son necesarias para hacer frente a la demanda, pero a causa de su variabilidad no es posible utilizar simplemente una intensidad horaria media durante un período largo. Para elegir el tránsito horario que interesa considerar en el proyecto de una vía hay que tener en cuenta la frecuencia con que se presentan los distintos valores del mismo.

Representando el número de horas al año en que se sobrepasan determinados valores de tránsito, se obtiene una curva en la que puede verse que, excepto para las 100 horas de mayor intensidad, el tráfico horario disminuye lentamente al aumentar la frecuencia con que se sobrepasan dichos valores de la intensidad. En cambio, para fuertes intensidades de tráfico, éstas disminuyen rápidamente al incrementarse la frecuencia. En consecuencia, se produce un codo, que generalmente suele presentarse para una frecuencia entre las 10 y las 50 horas del año. (Ver figura)

Para comparar entre sí curvas de frecuencias correspondientes a distintas carreteras, en lugar de utilizar los tránsitos horarios se emplean las relaciones tránsito horario/TPDA. La máxima intensidad puede llegar a ser mayor del 20% del TPDA para carreteras en zonas turísticas, y menor que el 10% en calles congestionadas. Naturalmente, no estaría justificado utilizar como tránsito horario representativo este valor máximo, sino que será preferible escoger un valor de la intensidad horaria que sólo sea sobrepasado durante un escaso número de horas al año. La práctica americana, seguida también en otros países, es la de escoger como representativa de la demanda el tránsito horario que sólo se excede durante 30 horas al año, llamada tránsito en la hora 30. La razón para escoger esta cifra es que el número de horas en las que es sobrepasada es relativamente pequeño y que generalmente coincide con el codo de la curva de frecuencia por lo que escoger una frecuencia menor (por ejemplo, la hora 10) llevaría a emplear un tránsito mucho más alto (lo que se traduciría en un mayor costo de la vía), y por el contrario al escoger una frecuencia mayor (por ejemplo, la hora 50) apenas se modificaría la intensidad horaria. En la mayoría de las carreteras la intensidad en la hora 30, oscila entre el 11% y el 17% del TPDA. Los valores más bajos se presentan en arterias urbanas, donde los valores pueden ser menores del 8%, y los más altos en carreteras con tráfico turístico (o de fin de semana) donde pueden ser del orden del 20%.

Conviene señalar que mientras la demanda de tráfico a considerar puede variar de forma continua, la capacidad de la infraestructura lo hace de manera discreta (escalonada). Por ello en el caso de un proyecto concreto puede ser más conveniente elegir la intensidad de proyecto en base a un estudio económico de costo y beneficio.

## **Distribución del tráfico entre diferentes carriles**

En las carreteras de dos carriles y dos sentidos de circulación se suele considerar el tránsito de tráfico total, es decir, la suma de los correspondientes a ambos sentidos. Mientras se consideren tránsitos diarios, especialmente el TPDA, será aceptable suponer que esta cifra se divide en partes iguales entre ambos sentidos. Por el contrario, cuando se consideran tránsitos horarios (como, por ejemplo, el de la hora 30) pueden presentarse diferencias entre sentidos. Como se verá al estudiar la capacidad vial, puede ser preciso considerar estas diferencias con detalle en algunos casos, como en los estudios de intersecciones.

En carreteras con calzadas separadas, suele ser normal considerar independientemente el tránsito correspondientes a cada sentido. Dentro de ellas, el tránsito se reparte entre los carriles existentes. Este reparto depende de la tránsito total y de la composición del mismo. Por ejemplo, si las calzadas tienen dos carriles (para un solo sentido), cuando el tránsito es bajo la mayor parte de los vehículos utilizan el carril derecho (en naciones donde se circula por la derecha), mientras que si la intensidad es muy alta se utiliza más frecuentemente el carril izquierdo que el derecho. Además la composición del tránsito es muy distinta en estos carriles. En el carril derecho circulan mucho más vehículos lentos que por el izquierdo. Cuando la intensidad de tránsito aumenta, el carril derecho acaba siendo utilizado principalmente por vehículos pesados y vehículos ligeros lentos, mientras que el carril izquierdo lo utilizan preferentemente vehículos ligeros rápidos.

## **Composición del tránsito**

Además de conocer el número total de vehículos que pasan por una carretera, frecuentemente interesará saber qué tipo de vehículos circula por ella. Por esta razón al realizar los conteos se clasifican los vehículos registrados en varias categorías, según vimos anteriormente.

La composición del tránsito se define mediante el porcentaje de vehículos en el TPDA que pertenecen a cada categoría.

En general, la mayor parte del tránsito está formado por vehículos livianos. Dentro de los mismos, los más importantes son los coches (85% al 90% del grupo) y dentro de los vehículos pesados los camiones representan más del 80% de este grupo. La tendencia a lo largo de los últimos años ha sido la del aumento de la importancia relativa de los vehículos livianos (principalmente coches) y una ligera disminución relativa de los vehículos pesados.

Naturalmente la composición del tránsito varía de unas carreteras a otras. En zonas urbanas, el porcentaje de vehículos ligeros es mayor que en carreteras, llegando en las calles céntricas de las grandes ciudades a ser superior al 90%. En carreteras, en las proximidades de grandes ciudades, son frecuentes porcentajes de vehículos pesados entre el 15% y el

20%, mientras que lejos de centros urbanos, especialmente en itinerarios importantes, son frecuentes porcentajes de vehículos pesados entre el 30% y el 40%, y aún superiores en algún caso. Evidentemente, estas composiciones medias sufren variaciones a lo largo del año, del día, etc.

#### **4.1.2.2 Velocidad**

##### **Definiciones**

La velocidad en un tramo de carretera varía mucho de unos vehículos a otros. Incluso cuando se estudia la velocidad de un solo vehículo, se ve que ésta no permanece constante aún cuando el conductor procure mantener una velocidad fija.

Por otra parte será más interesante estudiar valores medios de la velocidad que seguir con detalle la evolución de los distintos vehículos que circulan por un tramo. Estos valores medios puede obtenerse de distintas formas, con resultados diferentes, por lo que conviene especificar claramente cómo se ha obtenido la velocidad de la que se trate. En lo que sigue se emplearán las definiciones siguientes:

- Velocidad instantánea de un vehículo es la velocidad de un vehículo en un momento determinado.
- Velocidad de recorrido de un vehículo es la velocidad media conseguida por el vehículo al recorrer un tramo dado de carretera.
- Velocidad media temporal es la velocidad media de todos los vehículos que pasan por un punto fijo de la carretera durante un cierto período de tiempo.
- Velocidad media espacial es la velocidad media de todos los vehículos que en un instante determinado están en un tramo de carretera dado.
- Velocidad media de recorrido es la media de las velocidades de recorrido de todos los vehículos en un tramo de carretera.

Todas estas velocidades pueden referirse bien a todos los vehículos o bien sólo a los de una clase determinada: coches, camiones, etc.

##### **Distribución de frecuencias de velocidades**

Midiendo las velocidades de varios vehículos se pueden determinar las distribuciones de frecuencias de estas velocidades; las frecuencias obtenidas dependerán del método seguido para medir las distintas velocidades. Si se miden las velocidades de los vehículos cuando

estos pasan por un punto fijo de la carretera se obtiene la llamada distribución temporal, mientras que si se miden las velocidades de todos los vehículos en un instante dado se obtiene la distribución espacial. Estas dos distribuciones de frecuencia son distintas pero están estrechamente relacionadas.

Normalmente se mide la velocidad de los vehículos al pasar por un punto fijo, por lo que en general se utilizan distribuciones y medias temporales. Sin embargo, es conveniente tener en cuenta las diferencias entre distribuciones de ambos tipos cuando se comparan resultados empleando métodos distintos.

Para utilizar cómodamente las distribuciones de frecuencias conviene asimilarlas a distribuciones teóricas conocidas. Por razones prácticas se utilizan generalmente distribuciones normales, ya que si se consideran las velocidades de grupos homogéneos de vehículos (sólo camiones o sólo coches, por ejemplo), se observa que casi siempre las distribuciones obtenidas se adaptan muy bien a la distribución normal (o de Gauss). Esta distribución tiene el inconveniente de asignar una cierta probabilidad a velocidades negativas, pero salvo casos excepcionales, ésta es lo suficientemente pequeña para resultar despreciable a efectos prácticos.

### **Velocidad del percentil 85**

Para muchos estudios de trazado o de regulación de tráfico no es adecuado considerar la velocidad media como velocidad de proyecto porque el 50% de los vehículos circulan a una velocidad superior: interesa utilizar una velocidad que sea sobrepasada por un número reducido de vehículos. Se utiliza frecuentemente la velocidad correspondiente al percentil 85 (velocidad que sólo es sobrepasada por el 15% de los vehículos) de la distribución de los vehículos de turismo, que son los más rápidos. Esta velocidad de percentil 85 suele ser alrededor de un 20% superior a la velocidad media.

### **Factores que afectan a la velocidad**

La velocidad media varía de unas carreteras a otras, y en la misma carretera depende de las condiciones de tráfico y de la climatología. De todos los factores que influyen sobre ella, el más importante es la intensidad de tráfico existente. Se puede señalar que mientras la intensidad de tráfico es baja, los conductores pueden mantener la velocidad que ellos juzgan más adecuada mientras que cuando aumenta la intensidad, la velocidad de cada conductor viene determinada en gran parte por la de los demás, produciéndose una disminución de la velocidad media. Cuando esta intensidad es muy alta y la carretera llega a estar congestionada, la velocidad resulta poco influida por las características de la carretera e incluso es casi la misma para todo tipo de vehículos.

Cuando la intensidad de tráfico es baja puede apreciarse mejor la influencia de otros

factores. Considerando los relacionados con la carretera destaca el trazado de la misma. En las carreteras de un buen trazado, especialmente en las autopistas, las velocidades medias de los coches se acercan a los 100 km/h y la de los vehículos pesados a los 80 km/h. Dadas las características de curvas y pendientes, estas velocidades varían poco a lo largo de las autopistas. En estas vías se presentan diferencias notables de la velocidad media entre los distintos carriles de la misma calzada porque los vehículos lentos utilizan preferentemente el carril derecho y la velocidad en éste es inferior a la del izquierdo. En carreteras de dos carriles y doble sentido, las velocidades medias de los coches varían entre 70 y 90 km/h y las de los vehículos pesados entre 50 y 70 km/h. Estas velocidades medias se reducen además en curvas de pequeño radio y en las rampas, especialmente las de los camiones. En algunas carreteras, las condiciones del pavimento obligan a reducir la velocidad de los vehículos.

En zonas urbanas, las velocidades son mucho menores que en carreteras debido al mayor número de obstáculos al avance (semáforos, peatones, paradas de otros vehículos). Frecuentemente en el centro de las ciudades las velocidades de recorrido de los vehículos son inferiores a los 15 km/h.

Los factores climáticos desfavorables (lluvia, niebla, etc.) hacen disminuir la velocidad dependiendo de la intensidad de los fenómenos meteorológicos. Por la noche se observa una disminución de la velocidad media, pero con un aumento de la desviación cuadrática media de la distribución de velocidades, lo que parece indicar que algunos conductores reducen la velocidad, mientras otros la mantienen como durante el día.

#### **4.1.2.3 Densidad de Tráfico**

Se denomina densidad de tráfico al número de vehículos que existen por unidad de longitud sobre una carretera. Se puede medir, por ejemplo, obteniendo una fotografía de un tramo de carretera y contando los vehículos que hay en él. Pero realmente esta magnitud rara vez se mide, ya que es posible calcularla a partir de medidas de velocidad e intensidad.

Evidentemente existe un valor máximo de la densidad de tráfico, que se obtiene cuando todos los vehículos están en fila, sin huecos entre ellos. Esta densidad máxima será igual a la inversa de la longitud media de los vehículos, por el número de carriles. En estas condiciones los vehículos estarán parados, ya que les resultaría imposible moverse incluso a pequeña velocidad sin golpearse unos a otros.

La densidad de tráfico tiene un interés más teórico que práctico, ya que por resultar más sencilla la utilización de la intensidad y la velocidad, todos los procedimientos de estudio de la circulación se basan en estas últimas magnitudes.

### **4.1.3 Relaciones entre Intensidad, Velocidad y Densidad**

#### **4.1.3.1 Relación fundamental**

Entre las principales características de la circulación estudiadas existen relaciones que permiten deducir una de ellas de ellas a partir de los valores de las otras. Algunas de estas relaciones se deducen de su propia definición, mientras que otras se han obtenido de forma empírica a partir de numerosos datos recogidos en estudios reales.

Estas relaciones son muy utilizadas en estudios de tráfico. Así, cuando se proyecta una nueva carretera o se estudia el acondicionamiento de una existente, en la que se ha determinado la intensidad de tráfico que circulará por ella, se podrá estimar la velocidad de los vehículos correspondiente a esta intensidad a partir de una relación velocidad/intensidad, determinada en una carretera de características análogas.

En lo que sigue se supone que los vehículos se mueven a lo largo de un tramo de carretera, sin interrupciones a la circulación. Por consiguiente, si los vehículos llegan a detenerse, será debido a las propias circunstancias del tráfico y no a medidas exteriores, como pueden ser las indicaciones de un semáforo o un agente de la circulación.

Sea  $D$  la densidad de tráfico,  $I$  la intensidad y  $V_e$  la velocidad media espacial puede demostrarse que :

$$I = D V_e \quad (2)$$

#### **4.1.3.2. Relación velocidad-densidad**

Basándose en unas consideraciones sencillas, es fácil ver qué tipo de relación puede existir entre la velocidad media de los vehículos y la densidad de tráfico.

Evidentemente, si la densidad fuera muy pequeña, casi nula, los pocos vehículos que estuvieran en la carretera podrían estar muy separados y llevar la velocidad que quisieran sin que ningún otro les interfiriera. En estas condiciones, la velocidad de los vehículos podría ser tan alta como lo permitieran las características de la carretera y del propio vehículo. Con densidades mayores, los vehículos tendrían más dificultades para mantener la velocidad deseada porque encontrarían con cierta frecuencia vehículos más lentos delante de ellos que les impedirían mantener su velocidad. Por tanto al aumentar la densidad de tráfico la velocidad media disminuye. En el límite, cuando se alcance la densidad máxima (es decir, cuando la carretera esté totalmente ocupada por vehículos parachoque contra parachoque), será absolutamente imposible mover un vehículo sin golpear al que le precede, y la velocidad de todos los vehículos será igual a cero. La velocidad media resulta

así una función de la densidad que alcanza un valor máximo cuando la densidad es cero, y disminuye constantemente al aumentar la densidad hasta llegar a anularse cuando la densidad de tráfico alcanza su valor máximo.

#### **4.1.3.3 Relación intensidad-densidad**

Teniendo en cuenta la relación básica entre intensidad, densidad y velocidad media  $I = D \cdot V_e$  y la relación existente entre velocidad y densidad, se puede deducir la relación que existe entre intensidad y densidad. Cuando la densidad sea nula, también lo será la intensidad; y cuando la densidad alcance su valor máximo, por anularse la velocidad media, se anulará también la intensidad.

Entre ambos extremos, la intensidad tendrá valores positivos y por consiguiente debe alcanzarse un valor máximo de la intensidad. Representando la intensidad en función de la densidad, resultan funciones convexas con un máximo para un cierto valor de la densidad. Como en el caso de la relación velocidad-densidad, estas curvas serán diferentes para las distintas carreteras, presentándose mayores diferencias en la zona de baja densidad, mientras que serán similares en la zona cercana a la densidad máxima.

El hecho de que exista un valor máximo de la intensidad que puede circular por una carretera es de la mayor importancia. Este valor máximo se conoce como capacidad de la carretera, y la densidad para la que se obtiene se llama densidad crítica. Cada valor de la intensidad, menor que la capacidad, se obtiene para dos valores distintos de la densidad, uno menor que la densidad crítica y otro mayor. El funcionamiento de la circulación es completamente distinto en ambos casos. Cuando la densidad es menor que la crítica, el tráfico se mantiene relativamente fluido y estable, en el sentido que si se produce alguna pequeña perturbación que aumente momentáneamente la densidad de tráfico, tiende a disiparse y volver a la situación anterior. Por el contrario, cuando la densidad es superior a la crítica, las perturbaciones tienden a producir un empeoramiento de la situación que puede llegar a la detención total del tráfico. Por ello, los puntos de la rama ascendente del diagrama corresponden a condiciones de tráfico que se pueden considerar aceptables, ya que los vehículos se mantienen moviéndose a una velocidad que, aunque no sea la deseable, no sufrirá excesivas variaciones. Por el contrario, los puntos de la rama descendente corresponden a una circulación inestable, en que se producen constantemente paradas y avances, y las velocidades oscilan entre cero y valores siempre reducidos.

El diagrama que representa la intensidad en función de la densidad se conoce como diagrama fundamental del tráfico, y en él puede obtenerse para cualquier punto la intensidad (ordenada), densidad (abscisas) y velocidad media (pendiente de la recta que une el origen con el punto en cuestión).

Se estima que la densidad crítica suele ser del orden del 30% al 40% de la densidad máxima.

#### **4.1.3.4. Relación Velocidad-Intensidad**

Esta relación es mucho más sencilla de obtener en la práctica, ya que es más fácil medir velocidades e intensidades que densidades. Además, la intensidad de tráfico es una magnitud que define la demanda de tráfico en la carretera, y es por tanto un dato básico, mientras que la velocidad es la magnitud que mejor define el funcionamiento de la circulación desde el punto de vista de los conductores.

Como es el caso de la curva intensidad-densidad, se presentan dos velocidades distintas para cada valor de la intensidad, una relativamente elevada, y otra menor. La parte superior de la curva corresponde a una circulación libre y estable, mientras que la parte inferior corresponde a una circulación congestionada e inestable.

Comparando las curvas correspondientes a distintas carreteras, se observa que difieren apreciablemente en la parte superior (velocidades altas), mientras que son parecidas en la parte inferior. La rama superior de la curva (que es la más interesante a efectos prácticos, ya que la rama inferior corresponde a condiciones inaceptables) puede considerarse aproximadamente lineal, variando de unas carreteras a otras su pendiente y ordenada en el origen.

## **4.2. CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO**

### **4.2.1. Estudios sobre Capacidad de Carreteras**

Al estudiar las relaciones entre distintas magnitudes de tráfico se llegaba a la conclusión de que existe un máximo para la intensidad de tráfico que puede circular por una carretera. Este límite máximo o capacidad de la carretera tiene una importancia práctica fundamental en el proyecto de nuevas carreteras y en la explotación de las existentes. Por consiguiente, dentro de la ingeniería de tránsito se han desarrollado métodos que permiten el cálculo de dicha capacidad teniendo en cuenta las características de la carretera. Estos métodos se basan fundamentalmente en datos empíricos, ya que las complejas condiciones de la circulación no han permitido el desarrollo de modelos teóricos que puedan aplicarse en la práctica.

El método de cálculo de la capacidad más conocido y utilizado es el expuesto en el "Manual de capacidad de carreteras" preparado en Estados Unidos por el Transportation Research Board. Este método está basado en estudios realizados en ese país desde 1935, y ha sido objeto de varias ediciones.

Este método ha sido utilizado en otros países, entre ellos España, aunque en ciertos casos la práctica ha aconsejado introducir modificaciones para mejor adaptarlo a las circunstancias de cada país. En algunos países se han desarrollado métodos de cálculo de capacidad con una metodología diferente, pero frecuentemente se ha empleado la del Manual americano con las modificaciones que la experiencia ha aconsejado.

#### **4.2.2. Definición de capacidad**

La capacidad de una sección de carretera es el número máximo de vehículos que tienen una probabilidad razonable de atravesar la sección durante un período dado de tiempo (generalmente una hora) en unas condiciones determinadas de carretera y del tráfico.

Para que se alcance la capacidad de una sección de carretera será necesario que haya una demanda de tráfico suficiente en el acceso a la sección y que no exista una sección anterior de menor capacidad, que impida que la intensidad de tráfico se mantenga en la entrada; ni una sección posterior de menor capacidad que de lugar a la formación de una cola de vehículos que llegue a impedir la salida de los mismos de la sección considerada. Debido a la fluctuación aleatoria del tráfico pueden presentarse valores muy altos de la intensidad durante períodos muy cortos, por lo que normalmente interesa más definir la capacidad mediante el número de vehículos que pasan durante un período suficientemente largo como para eliminar estas oscilaciones aleatorias, por ejemplo, una hora.

La capacidad depende de las condiciones existentes. Estas condiciones se refieren fundamentalmente a las características de la sección (características geométricas, condición del pavimento, etc.) y a las del tráfico (especialmente su composición). Además habrá que tener en cuenta las regulaciones de la circulación que existan (limitaciones de velocidad, prohibiciones de adelantamientos, etc.) y que influirán sobre el tráfico. Por último, habrá que considerar las condiciones ambientales y meteorológicas. Sin embargo se tiene poca experiencia sobre la influencia de estos factores, ya que generalmente es pequeña y sólo en condiciones excepcionales puede llegar a ser importante.

En este sentido, la capacidad de una sección de carretera podrá alcanzar un valor máximo cuando sus propias condiciones y las del tráfico sean óptimas, lo que corresponde a una capacidad en condiciones ideales.

#### **4.2.3. Niveles e Intensidades del servicio**

El conocimiento de la capacidad de una sección de carretera es absolutamente necesario para proyectarla de forma que permita hacer frente a la demanda prevista.

Sin embargo no es suficiente en la práctica, porque las condiciones de circulación cuando se alcanza la capacidad son muy deficientes. La velocidad media es normalmente del orden de los 40-50 km/h; las separaciones entre vehículos son muy pequeñas y prácticamente nula la

libertad de maniobra. Por todo ello será conveniente que la carretera funcione con intensidades de tráfico inferiores a la capacidad. Ahora bien, una carretera que se construye con una capacidad mucho mayor que la demanda de tráfico prevista, representa un despilfarro que interesará evitar. Por consiguiente para escoger la relación entre intensidad de tráfico prevista y la capacidad de carretera, habrá que ponderar por un lado los gastos e incomodidades que experimentan los usuarios y por otro lado el coste de la carretera. Para ello sería necesario conocer la relación existente entre la intensidad de tráfico que circula y diversos factores como la velocidad media, el número de accidentes, la sensación de comodidad de los conductores, etc, y esto para cada tipo de carretera y para diferentes elementos de las mismas. Además haría falta poder valorar en términos monetarios todos estos factores. Con ello podría calcularse la relación entre intensidades y capacidad que hace mínima la suma total de costes. Aunque este procedimiento puede ser aplicable en algunos casos particulares, no puede utilizarse en general, por falta de los datos necesarios.

En la práctica, es necesario proceder de una forma más sencilla. Para ello habrá que establecer unas condiciones de la circulación (teniendo en cuenta los factores que intervienen en ella: velocidad, seguridad, comodidad, etc) que se consideren aceptables. Las condiciones que pueden parecer aceptables en una cierta situación (por ejemplo, en las calles céntricas de una ciudad) resultarán inaceptables en otras (por ejemplo, en una autopista interurbana). Por ello, hace falta establecer una escala de condiciones de circulación de mejores a peores y elegir aquellas que parezcan más adecuadas a la situación en estudio. Para permitir esta elección, el Manual de Capacidad introdujo el concepto de nivel de servicio.

El nivel de servicio es una medida puramente cualitativa que tiene en cuenta el efecto de varios factores tales como la velocidad y tiempo de recorrido, la seguridad, la comodidad de conducción y los costes de funcionamiento. La manera de combinar estos factores dependerá del tipo o elemento de carretera que se esté considerando, por lo que la definición de cada nivel de servicio particular será distinta, por ejemplo, en intersecciones, en tramos de carreteras de dos carriles, en autopistas, etc.

En la práctica resulta muy difícil tener en cuenta todos los factores mencionados y por ello el Manual de Capacidad define los niveles de servicio mediante uno o dos factores que pueden medirse y que son los más representativos del estudio de la circulación para el tipo de elemento de carretera que se esté estudiando.

Dado un determinado nivel de servicio se llama intensidad de servicio correspondiente a dicho nivel, al máximo número de vehículos que pueden atravesar por unidad de tiempo (generalmente una hora) una sección de carretera, de forma que se mantenga dicho nivel de servicio.

Es decir que si la intensidad de tráfico que circula por la carretera sobrepasa a esta intensidad de servicio, las condiciones de circulación no corresponderán al nivel de servicio

considerado, sino a otro peor. Como en el caso de la capacidad, estas intensidades de servicio dependerán de las condiciones de la carretera, del tráfico, de los sistemas de control y de las condiciones ambientales.

#### **4.2.4. Capacidad en Circulación Continua**

##### **4.2.4.1 Circulación continua**

En un tramo de carretera sin intersecciones no existe ninguna regulación que obligue a detenerse a los vehículos. Se dice que la circulación en este tramo es continua o ininterrumpida. Ello no significa que no puedan presentarse detenciones, como por ejemplo en caso de accidente, pero estas detenciones se producen por causas internas de la propia corriente de tráfico, mientras que en las intersecciones las paradas vienen impuestas por causas externas, como semáforos o señales de tráfico. En las carreteras predominan los tramos de circulación continua, ya que las intersecciones existentes distan mucho entre sí, y su influencia se reduce a unos cortos tramos de acceso a las mismas. Por el contrario, en zonas urbanas, las intersecciones están muy próximas, por lo que su influencia es mucho más importante, y en cambio son pocos los tramos con circulación sin interrupciones.

##### **4.2.4.2 Niveles de Servicio**

Para tener en cuenta las condiciones en que se desarrolla la circulación en tramos de carretera sin intersecciones, se emplean en el Manual de capacidad seis niveles de servicio, cuyas definiciones son las siguientes:

**Nivel de servicio A.** La velocidad de los vehículos es prácticamente igual a la que libremente eligen sus conductores, sin que se vena obligados a modificarla a causa de otros vehículos. Las características geométricas son tales que puedan desarrollarse con seguridad velocidades del orden de 110 a 120 km/h, y las condiciones de tráfico permiten que un conductor que circule a estas velocidades pueda conseguir una velocidad media de más de 100 km/h. Cuando un vehículo alcanza a otro más lento puede adelantarlo prácticamente sin sufrir ninguna demora, por lo que los conductores no se sienten estorbados por otros vehículos.

Este nivel de servicio corresponde a unas condiciones de libre circulación.

**Nivel de servicio B.** La velocidad de los vehículos, especialmente los más rápidos, se ve influida por otros vehículos, pero las características geométricas y las condiciones de la circulación son tales que los vehículos más rápidos pueden conseguir velocidades medias superiores a 90 km/h en autopistas y a 80 km/h en otras carreteras, sin necesidad de utilizar velocidades peligrosas en ningún caso. Los vehículos más rápidos pueden verse demorados durante ciertos intervalos por otros más lentos, pero no llegan a formarse colas porque hay oportunidades de adelantamiento. Las carreteras se suelen

dimensionar, según el Manual de capacidad, de forma que las condiciones de circulación no sean peores que las correspondientes al nivel B, excepto durante unas pocas horas al año.

Este nivel de servicio corresponde a unas condiciones de circulación estable.

**Nivel de servicio C.** La mayor parte de los conductores deberán ajustar su velocidad teniendo en cuenta la de los vehículos que les preceden, aunque las condiciones son tales que la velocidad media de los vehículos más rápidos puede ser superior a 80 km/h en autopistas y 65 km/h en otras carreteras. Las posibilidades de adelantamiento son reducidas y se forman grupos de vehículos que circulan a la misma velocidad. La circulación sigue siendo estable, porque las perturbaciones debidas a los cambios de velocidad se suelen disipar sin llegar a producir una detención total. Sin embargo, en algunos casos se pueden presentar puntas de tráfico durante cortos intervalos de tiempo que produzcan situaciones inestables, por lo que cuando se llega a intensidades de tráfico tan altas es necesario tener en cuenta las variaciones de tráfico que se producen en períodos cortos (de 5 a 15 minutos). En principio sería deseable que en las autopistas y arterias urbanas no se sobrepasará este nivel de servicio durante las horas puntas.

**Nivel de servicio D.** Todos los vehículos deben regular su velocidad teniendo en cuenta la marcha de los vehículos precedentes. Las velocidades son reducidas y los vehículos alcanzan velocidades medias de unos 65 km/h en autopistas y de unos 55 km/h en otras carreteras. Se forman largas colas, ya que resulta casi imposible adelantar a otros vehículos. La circulación se aproxima a la inestabilidad y cualquier incremento en la intensidad de tráfico puede dar lugar a la detención de la circulación. Estas condiciones de circulación sólo resultan tolerables durante períodos cortos de tiempo en zonas urbanas y suburbanas.

**Nivel de servicio E.** Corresponde a las condiciones de circulación en las que la intensidad de tráfico llega a alcanzar la capacidad de la carretera.

En estas condiciones la velocidad media de todos los vehículos es prácticamente igual, del orden de 40-50 km/h en cualquier tipo de carretera. Los vehículos forman largas colas con separaciones muy pequeñas entre ellos y resulta imposible cualquier maniobra de adelantamiento o cambio de carril. Son frecuentes las detenciones bruscas debidas a cualquier tipo de incidente. Es una situación límite, que puede mantenerse durante períodos cortos ya que a la larga se producirá alguna detención y se circulará con parones y arrancadas sucesivas.

**Nivel de servicio F.** Corresponde a la situación de congestión producida cuando la intensidad de tráfico que entra en un tramo de carretera sobrepasa la capacidad en la salida del mismo. Mientras se mantenga esta situación en dicho tramo se irá formando una cola de vehículos que avanzarán muy lentamente y con frecuentes paradas, hasta

conseguir atravesar la zona congestionada. En estas condiciones la velocidad media es muy baja y dependerá del tiempo transcurrido desde que empezó la congestión, ya que al ir aumentando la longitud de la cola de vehículos, se tardará más tiempo en recorrer la zona congestionada. La situación resulta completamente inaceptable y denota la existencia de una sección cuya capacidad es insuficiente para la demanda.

Para determinar de forma precisa cuál es el nivel de servicio correspondiente a unas condiciones dadas de circulación, habría que considerar la velocidad de los vehículos, los cambios de velocidad y otras restricciones a los conductores, la facilidad con que se realizan maniobras de adelantamiento y cambio de carril, la seguridad vial, la comodidad de la conducción y los costes del viaje. Como resulta muy complicado considerar y cuantificar todos estos factores, el Manual de capacidad reduce las magnitudes que intervienen en la determinación de los niveles de servicio a dos: la velocidad de servicio y la relación intensidad/capacidad.

La velocidad de servicio (máxima velocidad de circulación segura) se define como la mayor velocidad media de recorrido que puede conseguir un conductor que circule por un tramo de carretera en buenas condiciones meteorológicas y bajo unas determinadas condiciones de tráfico, sin que su velocidad exceda en ningún momento la velocidad específica del mismo. En un tramo sin tráfico esta velocidad coincidiría con la velocidad específica del mismo, pero al ir aumentando la intensidad de tráfico el vehículo irá encontrando otros más lentos que le obligarán a reducir momentáneamente su velocidad; por consiguiente la velocidad de servicio irá disminuyendo al aumentar la intensidad de tráfico.

La relación entre la intensidad de tráfico y la capacidad puede utilizarse como una medida de las restricciones que sufren los conductores y de la facilidad de maniobra.

#### **4.2.4.3 Factores que influyen en la capacidad y en las intensidades de servicio**

##### **Dependientes de la carretera**

###### **Sección transversal**

La capacidad y las intensidades de servicio son directamente proporcionales al número de carriles existentes para cada sentido. Por ello en carreteras con calzadas separadas o en las que existen dos o más carriles en cada sentido, se puede hablar de capacidad (e intensidad de servicio) por carril y la capacidad total será igual al producto del número de carriles por la capacidad de cada carril. En vías de calzada única de dos o tres carriles, se utiliza la capacidad total de la calzada.

La capacidad por carril aumenta con la anchura del mismo, pero a partir de un ancho del orden de 3.50 m no se consiguen aumentos sensibles de capacidad.

Cuando junto a los carriles exteriores de la calzada existen obstáculos como postes de señales, bordillo elevados, barreras, cunetas profundas, etc. los conductores tienden a desplazarse hacia el centro de la calzada. Por consiguiente, el efecto que producen es semejante a un estrechamiento. Experimentalmente se ha comprobado que cuando el obstáculo está a más de 1.80 m el efecto es prácticamente inapreciable.

### **Trazado**

La velocidad de servicio y por consiguiente el nivel de servicio que se puede conseguir en un tramo de carretera depende de la velocidad de proyecto de la carretera.

Para determinar las intensidades de servicio será necesario tener en cuenta la velocidad de proyecto de la carretera, y en las carreteras de dos o tres carriles, además, la longitud con visibilidad de adelantamiento. Por el contrario, estos factores apenas influyen sobre el valor de la capacidad de la carretera. Cuando la intensidad de tráfico se acerca a la capacidad, la velocidad de cualquier vehículo está condicionada por los vehículos que le rodean y resulta independiente de la velocidad de proyecto de la carretera. Por ello, para calcular la capacidad de una sección no es preciso tener en cuenta las características de su trazado, con la excepción del efecto de las rampas cuando circulan vehículos pesados.

Como ya se vio, la velocidad de los vehículos al subir por una rampa tiende a estabilizarse en una velocidad que depende de la inclinación de la rampa y de la relación peso/potencia del vehículo. Los coches pueden subir rampas hasta de un 5% con velocidades poco diferentes de las que desarrollan en el llano. Por ello, si sólo circularan coches, únicamente las rampas de inclinación muy fuerte podrían influir sobre los niveles de servicio al reducir la velocidad de servicio.

### **Factores que dependen del tráfico**

#### **Vehículos pesados**

Los vehículos pesados tienen mayores dimensiones que los coches y generalmente se mueven a menor velocidad. Por ello cuando entre los vehículos que circulan por una carretera existen vehículos pesados, el número total de vehículos que pueden atravesar una sección será menor que si todos los vehículos fueran coches. Por consiguiente, la capacidad de la carretera será menor si circulan vehículos pesados. Asimismo, se producirá una reducción en el nivel de servicio, ya que los vehículos pesados que son muy lentos obligarán a algunos coches a reducir su velocidad y a efectuar maniobras de adelantamiento.

Para tener en cuenta el efecto producido por los vehículos pesados, se recurre a utilizar el concepto de número de coches equivalentes a un vehículo pesado o factor de equivalencia. Es decir, se determina el número de coches que producirían el mismo efecto que un solo

vehículo pesado en la corriente de tráfico. Conocido este factor de equivalencia, se puede sustituir la intensidad de los vehículos pesados por una intensidad equivalente de coches, y se puede operar con ella para determinar el nivel de servicio como si el tráfico estuviera formado únicamente por coches.

### **Distribución de tráfico entre carriles**

En carreteras con varios carriles por sentido, los vehículos más rápidos tienden a utilizar preferentemente los carriles de la izquierda para evitar a otros más lentos. Por ello, salvo con intensidades de tráfico muy bajas, los carriles de la izquierda suelen soportar una intensidad de tráfico superior a la del carril de la derecha. Al ser utilizados por vehículos más rápidos, se mantiene un buen nivel de servicio incluso con una mayor intensidad que en el carril derecho.

### **Variaciones de tráfico durante períodos cortos**

Ya se indicó al estudiar las variaciones de la intensidad de tráfico, que en algunos casos era preciso tener en cuenta las fluctuaciones del tráfico durante períodos de 5 minutos. Este caso se presenta en autopistas con tráfico intenso (por ejemplo, cerca de zonas urbanas) donde las fluctuaciones de corta duración pueden causar la congestión de una autopista.

En otros tipos de carretera, especialmente fuera de zonas urbanas, no suele ser necesario este factor, ya que en ellas las intensidades de tráfico son muy inferiores a la capacidad y no es probable que las fluctuaciones de tráfico puedan producir la congestión.

#### **4.2.4.4 Procedimientos para determinar la capacidad y niveles de servicio**

A continuación se expone un procedimiento para el cálculo de la capacidad y la determinación del nivel de servicio en diferentes tipos de carretera con circulación continua, basado en el Manual de Capacidad americano, con algunas simplificaciones. Este método se ha empleado también en condiciones europeas con resultados satisfactorios generalmente.

#### **Cálculo de la capacidad**

Aunque el método es muy similar en ambos casos, se estudiarán separadamente las carreteras con dos o más carriles por sentido de circulación y las de calzada única con dos carriles para ambos sentidos.

##### **a) Carreteras con dos o más carriles por sentido**

En este caso se calcula separadamente la capacidad para cada sentido, tanto si se trata de

calzadas separadas, como de una sola calzada con cuatro o más carriles. Se expondrá con más detalle el método para calcular la capacidad de calzadas de autopista, indicándose como puede generalizarse para otros tipos de carretera.

En las calzadas de autopistas, en condiciones ideales, la capacidad se supone igual a 2000 vehículos/hora por carril.

Para que se obtenga una capacidad de este orden es preciso que se cumplan las siguientes condiciones ideales:

- carriles de ancho igual o superior a 3.60 m
- obstáculos laterales a más de 1.80 m del borde la calzada
- tráfico formado por coches exclusivamente

Cuando no se cumplen estas condiciones es necesario introducir unos factores de corrección, con lo que la capacidad de una calzada de una autopista vendrá dada por la expresión:

$$C \text{ (vehículos/hora)} = 2000 n f_c f_i f_d f_p$$

$n$  = número de carriles por calzada

$f_c$  = factor que tiene en cuenta el efecto del ancho de los carriles

$f_i, f_d$  = factores que tienen en cuenta el efecto de obstáculos laterales a izquierda y derecha de la calzada

$f_p$  = factor que tiene en cuenta la composición real del tráfico

Los referidos factores se calculan de acuerdo a las tablas y formulas siguientes:

**Factor de corrección por ancho de los carriles ( $f_c$ )**

Ancho del carril (m)	Autopistas		Carreteras de 2 carriles (ambos sentidos)
	2 carriles (por sentido)	3 o 4 carriles (por sentido)	
≥ 3,60	1.00	1.00	1.00
3.30	0.97	0.96	0.88
3.00	0.91	0.89	0.81
2.70	0.81	0.78	0.78

**Factores medios de corrección por obstáculos laterales ( $f_i, f_d$ )**

Distancia al borde de la calzada (m)	Autopistas		Carreteras de 2 carriles (ambos sentidos)
	2 carriles (por sentido)	3 o 4 carriles (por sentido)	
≥ 1.80	1.00	1.00	1.00
1.20	0.99	0.99	0.97
0.60	0.97	0.97	0.93
0.00	0.90	0.94	0.88

**Factor de composición real de tráfico ( $f_p$ )**

$$f_p = \frac{100}{100 - P_a - P_c + E_a P_a + E_c P_c}$$

Siendo:

$P_a$ = porcentajes de ómnibus  
 $P_c$ = porcentajes de camiones  
 $E_a$ = equivalente de ómnibus

$E_c$  = equivalente de omnibus

Factores medios de equivalencia de camiones y ómnibus ( $E_a$ ,  $E_c$ )

Tipo de carretera y vehículo	Tipo de Terreno		
	Llano	Ondulado	Accidentado
<b>Autopista</b>			
Comiones	2	4	8
Ómnibus	1.6	3	5
<b>Carretera de 2 carriles</b>			
Camiones	2	5	12
Ómnibus	2	4	6

En otros tipos de carretera con calzadas separadas se emplea el mismo método. En carreteras de una sola calzada con cuatro o más carriles, se calcula independientemente la capacidad para cada sentido con el método anterior. En este caso basta tener en cuenta el efecto de obstáculos a la derecha

#### b) Carreteras con dos carriles

En este caso se calcula la capacidad total de la carretera, para ambos sentidos de circulación. Dada la mayor importancia de las carreteras de dos carriles, se pondrá en primer lugar el método para este tipo de carreteras.

Según el Manual de Capacidad, la capacidad de una carretera de dos carriles, en condiciones ideales, es de 2000 vehículos/hora, suma de ambos sentidos. Sin embargo se han medido con frecuencia, tanto en Estados Unidos como en otros países, intensidades superiores a esta cifra. En tal sentido actualmente se está aumentando el referido valor.

En este tipo de carreteras las condiciones ideales son las siguientes:

- ancho de carriles superiores a 3.60 m
- obstáculos laterales a 1.80 m del borde de la calzada
- tráfico formado por coches

Cuando no se cumplen estas condiciones es necesario tener en cuenta factores de corrección, empleando la fórmula

$$C \text{ (veh./hora)}=2000f_c f_i f_d f_p$$

teniendo las letras los mismos significados que en el caso de las autopistas, y pudiendo encontrarse sus correspondientes valores en las mismas tablas.

### **Determinación de los niveles de servicio**

Conocidos los tránsitos que ha de soportar la carretera y la capacidad de la misma, se puede determinar cual será el nivel de servicio que se conseguirá para la circulación sobre ella. O bien, a la inversa, conocida la capacidad, se podrá determinar cual es el máximo tránsito para un determinado nivel de servicio.

Para ello el Manual de Capacidad establece los valores de la relación tránsito/capacidad que corresponden a distintos niveles de servicio para carreteras en condiciones ideales, con lo que se pueden obtener los tránsitos de servicio.

De forma análoga al cálculo de capacidad, para determinar las intensidades de servicio se indican los factores de corrección que permiten pasar de las condiciones ideales a las condiciones reales de la carretera. En el citado Manual los factores de corrección dependen del nivel de servicio que se esté estudiando, pero de forma bastante aproximada se puede suponer que dichos factores son iguales a los que se han indicado anteriormente para el cálculo de la capacidad. Con esta aproximación se simplifica el cálculo de las intensidades de servicio, ya que para cualquier tipo de carreteras, bastará calcular su capacidad en condiciones reales, y determinar la relación tránsito/capacidad (i/c) que corresponde al nivel de servicio deseado (tablas siguientes según el tipo de carretera). De esta forma la intensidad de servicio de cualquier nivel X será:

$$I_x \text{ (veh./hora)}=(i/c)_x C$$

Donde :  $I_x$  = intensidad de servicio del nivel X  
 $(i/c)_x$  = obtenido en las tablas  
 C = capacidad de la carretera

Cuando se desee conocer el nivel de servicio que existe en una carretera, en la que se conoce la intensidad de tráfico que circula o la que se prevé va a circular por ella, bastará calcular la capacidad de la carretera tal como se indicó en el apartado anterior, y obtener la relación entre intensidad real y dicha capacidad. A partir de esta relación se puede terminar en la tabla que corresponda el nivel de servicio que se alcanza con dicha intensidad de tráfico.

### Niveles de servicio en autopista

Nivel de servicio	Velocidad de servicio (km/h)	i/c		
		Velocidad de proyecto (km/h)		
A	≥100	≥110	100	80
		$\leq 0,50 - \frac{0,30}{n}$	(I)	(I)
B	≥90	$\leq 0,75 - \frac{0,50}{n}$	≤0,25	(I)
C	≥80	$\leq \left(0,90 - \frac{0,30}{n}\right) \cdot f_p$	≤ 0,45f <sub>p</sub>	(I)
D	≥65	≤ 0,90f <sub>p</sub>	≤ 0,80f <sub>p</sub>	≤ 0,45f <sub>p</sub>
E	50-60	≤1,00	≤1,00	≤1,00

N=número de carriles por calzada

F<sub>p</sub>=Factor de hora pico (en 5 minutos)

(I)=No es posible alcanzar el nivel de servicio

**Niveles de servicio en carreteras con dos o más carriles por sentido  
(Excluidas autopistas)**

Nivel de servicio	Velocidad de servicio (km/h)	i/c		
		Velocidad de proyecto (km/h)		
A	≥100	≥110	100	80
		≤0,30	(I)	(I)
B	≥90	≤0,50	≤0,20	(I)
C	≥70	≤0,75	≤0,50	≤0,25
D	≥60	≤0,90	≤0,85	≤0,70
E	50	≤1,00	≤1,00	≤1,00

(I)=No es posible alcanzar el nivel de servicio

### Niveles de servicio en carreteras de dos carriles

Nivel de servicio	V. serv. (km/h)	L.V.A. > 250 m (%)	i/c				
			Velocidad de proyecto (km/h)				
			100	90	80	70	65
A	≥100	100	≤0,20	(I)	(I)	(I)	(I)
		80	≤0,18				
		60	≤0,15				
		40	≤0,12				
		20	≤0,08				
		0	≤0,04				
B	≥80	100	≤0,45	≤0,40	(I)	(I)	(I)
		80	≤0,42	≤0,35			
		60	≤0,38	≤0,30			
		40	≤0,34	≤0,24			
		20	≤0,30	≤0,18			
		0	≤0,24	≤0,12			
C	≥65	100	≤0,70	≤0,66	≤0,56	≤0,51	(I)
		80	≤0,68	≤0,61	≤0,53	≤0,46	
		60	≤0,65	≤0,56	≤0,57	≤0,41	
		40	≤0,62	≤0,51	≤0,38	≤0,32	
		20	≤0,59	≤0,45	≤0,28	≤0,22	
		0	≤0,54	≤0,38	≤0,18	≤0,12	
D	≥60	100	≤0,85	≤0,83	≤0,75	≤0,67	≤0,58
		80	≤0,84	≤0,81	≤0,72	≤0,62	≤0,55
		60	≤0,83	≤0,79	≤0,69	≤0,57	≤0,51
		40	≤0,82	≤0,76	≤0,66	≤0,52	≤0,45
		20	≤0,81	≤0,71	≤0,61	≤0,44	≤0,35
		0	≤0,80	≤0,66	≤0,51	≤0,30	≤0,19
E	50		≤1,00	≤1,00	≤1,00	≤1,00	≤1,00

(I)=No es posible alcanzar el nivel de servicio

L.V.A. (Longitud con visibilidad de adelantamiento)

## **4.3 TRANPSORTE DE CARGA**

### **4.3.1 Generalidades**

El transporte de cargas a nivel nacional se encuentra en el ámbito de libertad de trabajo, no estando en consecuencia sujeto a otra regulación que la referida al Permitido de Circulación y a las normas sobre pesos y dimensiones máximas permitidas para los vehículos.

La actividad de la flota de vehículos de carga a nivel nacional es poco conocida. La gran cantidad de empresas transportistas, en su mayoría con pocas unidades, dificulta la recolección de la información. Se han realizado ocasionalmente censos origen-destino para estudios específicos.

En cuanto al transporte internacional de cargas por carretera se dispone de una completa estadística, recogiéndose la información de base en los diferentes Pasos de Frontera. El procesamiento de dicha información permite conocer la evolución del porcentaje de transporte, número de viajes y tonelaje, tipo de carga y origen-destino de la misma, características (exportación, importación, en tránsito).

El transporte internacional carretero de cargas se realiza fundamentalmente a través de Fray Bentos con Argentina y Chuy, Río Branco y Rivera con Brasil. (Ref. 1)

### **4.3.2. Transporte de Mercancías Peligrosas**

#### **4.3.2.1. Introducción**

Una mercancía es peligrosa cuando es capaz de ocasionar daños a los seres vivos, los bienes materiales y el medio ambiente. Si la naturaleza de las mercancías peligrosas es tal que puede ocasionar graves daños en su entorno, ¿por qué se usan? Porque son útiles.

Por consiguiente, el transporte de tales productos ha exigido el desarrollo de normas y una vigilancia especial por parte de la Administración.

Existen varios Convenios y Reglamentos a nivel internacional que regulan el transporte de mercancías peligrosas en sus diversas modalidades, entre otros:

- Convenio IMDG para transporte internacional marítimo.
- Convenio sobre transporte internacional aéreo de mercancías peligrosas de la OACI

- Acuerdo para la Facilitación del Transporte de Mercancías Peligrosas en el MERCOSUR (regula el transporte terrestre de dichas mercancías en la región).

A continuación, se hace referencia de forma resumida a algunos aspectos relevantes de este último Convenio.

#### **4.3.2.2. Clasificación**

La clasificación de las mercancías en nueve clases adoptada en la normativa vigente, se efectúa en función del tipo de riesgo que presentan, conforme a las Recomendaciones de las Naciones Unidas.

- Clase 1 – Explosivos
- Clase 2 – Gases
- Clase 3 – Líquidos inflamables
- Clase 4 – Sólidos inflamables. Sustancias propensas a combustión espontánea., sustancias que en contacto con el agua desprenden gases inflamables.
- Clase 5 – Sustancias oxidantes y Peróxidos orgánicos
- Clase 6 – Sustancias tóxicas y sustancias infecciosas
- Clase 7 – Materiales radioactivos
- Clase 8 – Sustancias corrosivas
- Clase 9 – Materiales peligrosos varios

#### **4.3.2.3 Elementos indicativos de los riesgos**

Los embalajes y los vehículos que transporten mercancías peligrosas deben identificarse por medio de etiquetas (o rótulos de riesgo) y de paneles de seguridad, con la finalidad de:

- hacer que las mercancías se reconozcan fácilmente a distancia, por la forma y color del símbolo;
- permitir la identificación de los riesgos que presentan;
- proporcionar por medio de los colores las primeras precauciones en el manipuleo y estiba.

#### **Etiquetas**

Consisten en rombos con dibujos y colores según se observa en lámina adjunta :

#### **Paneles**

Todos los vehículos deberán llevar por lo menos uno delante y otra detrás. Este panel llevará en el parte superior un número de dos o tres cifras que identificará el tipo de peligro de la mercancía transportada.

En la parte inferior llevará un número de cuatro cifras correspondiente a la identificación de la mercancía asignada pro las Naciones Unidas.

La normativa vigente contiene disposiciones referentes a la ubicación de las etiquetas y paneles, en particular en caso de transporte de mercancías peligrosas en cisternas compartimentadas, transporte de explosivos, transporte de productos de diferentes clases, etc.

#### **4.3.2.4 Embalajes**

La normativa vigente describe los diferentes tipos de embalajes admitidos para el transporte de mercancías peligrosas, establece que las disposiciones generales que deberán cumplir a efectos de prevenir cualquier posibilidad de derrame o fuga que pudiera resultar bajo condiciones normales de transporte, e indica las pruebas que debe someterse cada prototipo de embalaje según los procedimientos establecidos por la autoridad competente.

Las inscripciones o marcas de los embalajes son las claves que identifican el tipo de recipiente, su material de fabricación, el grupo de embalaje de la sustancia envasada, entre otros.

#### **4.3.2.5 Documentación**

En el transporte de mercancías peligrosas se exige una serie de documentos adicionales a los requeridos en cualquier operación de transporte habitual.

##### **Relativa al conductor**

Los conductores de vehículos de transporte de mercancías peligrosas deberán poseer además de las habilitaciones exigidas por las normas de tránsito, un certificado de formación profesional en transporte de mercancías peligrosas expedido por la autoridad competente.

##### **Relativa al vehículo**

- Certificado de Aptitud Técnica (CAT) acreditando que el vehículo cumple las disposiciones generales sobre seguridad en el tránsito, como por ejemplo en lo relativo al estado de frenos, etc.
- Certificado de Habilitación. Se expide a las cisternas dedicadas al transporte de mercancías peligrosas y testimonia su adecuación para el transporte de dichos productos.

## **Relativa a la mercancía**

- Ficha de Emergencia. Son instrucciones escritas que el expedidor entrega al transportista en para casos de accidente.
- Declaración de Carga. En este documento el expedidor informa sobre las características de las mercancías peligrosas que entrega a la empresa transportista.

### **4.3.2.6 Reglas específicas de circulación**

La normativa vigente contiene disposiciones adicionales a la normativa de tránsito vinculadas con la prohibición de fumar, de ingerir alcohol, de transportar viajeros, así como con el límite de máximo de velocidad permitida, número máximo admitido de unidades remolcadas, itinerario, parada y estacionamiento, y equipamiento de seguridad del vehículo y de protección individual del conductor.

#### **4.3.2.7 Operaciones de carga y descarga**

Son muy importantes las normas que regulan estas operaciones puesto que los grandes accidentes con mercancías peligrosas no derivan tanto de accidentes de tránsito, sino de excesos o errores en la carga y estiba.

La normativa vigente contiene normas relativas a las condiciones previas a la carga y descarga, documentación, aceptación del vehículo, tipo de limpieza exigible antes de cargar, cálculos previos, procedimientos particulares de carga o descarga, sistema de control de llenado, prohibición de cargamento conjunto, condiciones del personal que realiza las operaciones, controles después de la carga o descarga, así como la expedición de mercancías peligrosas en cantidades limitadas.

#### **4.3.2.8 Comportamiento en caso de accidente**

Aún tomando las más estrictas medidas de seguridad, el accidente siempre se puede producir.

El conductor deberá actuar en función de los que determine la ficha de emergencia. Deberá informar de la inmovilización del vehículo a la autoridad competente y, si no pone en riesgo su integridad física, socorrer a posibles víctimas.

El conductor deberá acudir a los teléfonos que se encuentran en la ficha de emergencias indicando: lugar del accidente, clase de mercancías que transporta, existencia de víctimas.

#### **4.3.2.9 Infracciones y sanciones**

En el transporte de mercancías peligrosas intervienen varias figuras: el fabricante del producto, el expedidor, el destinatario, el contratante del transporte, el transportista y el conductor.

Las autoridades de transporte en el ámbito de sus competencias realizan controles con carácter preventivo y podrán sancionar a los conductores y empresas en caso que observen infracciones que comprometan la seguridad de la operación, en base a una tipificación de infracciones y régimen de sanciones aprobado a nivel del MERCOSUR.

## **4.4 TRANSPORTE DE PASAJEROS**

### **4.4.1 Generalidades**

En materia de transporte colectivo de pasajeros, se establecen dos grandes categorías de servicios:

- el transporte regular, que constituye un servicio público brindado por el Estado a través de empresas concesionarias, y
- el transporte de turismo, actividad privada sujeta sólo a regulación parcial.

### **4.4.2 Servicios regulares**

El servicio público nacional de autotransporte de pasajeros implica la existencia de líneas regulares con origen y destino, recorrido, cantidad de turnos (frecuencia), horarios, comodidad (pasajeros de pie) y tarifas fijados por la Administración.

Para atender las necesidades de transporte se han establecido gran número de líneas regulares, algunas de las cuales datan ya de muchos años. Las empresas concesionarias, por su parte son numerosas aunque heterogéneas en cuanto a su tamaño y líneas de cargo.

Las líneas regulares se clasifican por su naturaleza, en cinco grandes grupos.

#### **Líneas urbanas**

Tienen todo su recorrido en una ciudad. Por su magnitud es motivo de consideraciones particulares (capítulo transportes urbanos). Considerando solamente Montevideo transportan más de 300 millones de pasajeros al año.

#### **Líneas de departamentales**

Tienen todo su recorrido en un mismo departamento. Las anteriores y éstas son reguladas por Ordenanzas y/o Reglamentos departamentales,

#### **Líneas nacionales urbanas**

Tienen origen en Montevideo y el recorrido está comprendido en un radio de 60 km. Se caracterizan normalmente por una alta frecuencia de servicios que atienden fundamentalmente la vinculación de la Capital con el área metropolitana y localidades próximas.

Estas líneas representan los servicios de mayor problemática debido a la coexistencia de

servicios departamentales y urbanos, y al elevado crecimiento experimentado en los últimos años (más del 50% en el período '90-'94).

En 1993 transportaron más de 50 millones de pasajeros (Ref 1)

### **Líneas nacionales de corta, mediana y larga distancia**

Tienen su recorrido de hasta 120 km, hasta 240 km y mayor de 240 km respectivamente, y vinculan las capitales departamentales y ciudades importantes con Montevideo o entre si. Se encuentran establecidas más de un centenar de líneas que son servidas por varias decenas de empresas con diferentes grados de utilización de oferta.

En 1993, transportaron más de 16 millones de pasajeros.

Las características de estos servicios, como ser orígenes y destinos, recorridos, kilometraje y disponibilidad diaria, se detallan en la referencia n° 1.

### **Líneas internacionales**

Como tales, tienen parte de su recorrido en territorio nacional y parte en territorio extranjero. Se encuentran funcionando: líneas con Argentina, Brasil, Chile y Paraguay.

En 1993 transportaron unos 290, 130 6 y 14 mil pasajeros, respectivamente.

### **Operación**

La actividad del transporte regular de pasajeros, por tratarse de un servicio público, es objeto de control de la Administración. De acuerdo al ámbito donde se realice el transporte, existen Ordenanzas y Reglamentos de validez internacional, nacional y departamental. La Administración supervisa el cumplimiento de la reglamentación aplicable a cada caso.

La demanda de los servicios de transporte colectivo de pasajeros es consecuencia de las necesidades de movilización de los usuarios y se estima depende en gran parte del nivel de actividad económica y de los ingresos de la población.

La oferta, por su parte, debe ser regulada por la Administración de forma de establecer el número de servicios necesarios para satisfacer la demanda con un nivel razonable de eficiencia del sistema.

La Administración lleva generalmente una completa estadística de la evolución de la demanda, la oferta real y los coeficientes de ocupación, así como datos básicos para caracterizar la situación económico-financiera de las empresas concesionarias en relación con la rentabilidad de las líneas atendidas.

Según la naturaleza de línea se establecen las condiciones que deben cumplir los vehículos en cuanto a antigüedad máxima de vehículos, número de puertas, dotación de bodegas,

dimensiones internas, tipo de asientos para ser habilitados, etc. La Dirección Nacional de Transporte regula asimismo la importación de ómnibus expidiendo, en aquellos casos en que se estima oportuno y conveniente, el correspondiente Certificado de Necesidad.

La reglamentación contiene un régimen tarifario para los distintos servicios que tiene como objetivo proteger al consumidor de posibles abusos de las empresas.

Para el caso del transporte nacional, las líneas regulares son atendidas por una o más empresas concesionarias en función del nivel de demanda de aquellas de modo que se establezca un régimen de sana competencia.

Una empresa puede acceder a la concesión de una línea regular nacional mediante dos mecanismos diferentes previstos en el “Reglamento para la Concesión de Servicios Regulares de Transporte de Pasajeros por Carretera” (Dec. 228/91 del 25/4/91):

- por adjudicación directa, una vez que al Administración entiende conveniente y viable la propuesta presentada por una empresa nacional a tales efectos. La solicitud debe cumplir con toda una serie de requisitos, entre los que se encuentra la demostración de existencia de demanda insatisfecha y la factibilidad del proyecto, así como la empresa cuenta con capacidad técnica y económica para llevarla a cabo.
- Por adjudicación de una licitación realizada por la Administración. El llamado a licitación puede hacerse efectivo cuando se detecta la necesidad de establecer una línea y en otros casos, por ejemplo cubano existen varias empresas interesadas en una determinada línea.

#### **4.4.3. Servicios de Turismo**

Dentro de la normativa vigente se incluye como servicio de categoría “turismo” las excursiones ó circuitos turísticos, propiamente dichos, y los servicios especiales o discrecionales. Dichos servicios no constituyen servicio público, por lo que su prestación es una actividad desarrollada en régimen bastante liberal, aunque la administración puede registrarla en caso de constatarse interferencia con las líneas regulares. Los vehículos son habilitados previamente por la Dirección Nacional de Transporte, y las normas establecen condiciones mínimas a cumplir en función de servicio, como por ejemplo, antigüedad máxima. La importación de vehículos con más de 18 asientos destinados a servicios de turismo está también regulada, al igual que en el caso de vehículos destinados a líneas regulares.

Dichos servicios se prestan normalmente por parte de gran número de empresas en su mayoría pequeñas, sin perjuicio de que varias empresas concesionarias de líneas regulares realizan también servicios de turismo por lo cual tienen vehículos habilitados en esa

cateoría.

## **4.5 TRANSPORTE INTERNACIONAL DE PASAJEROS Y CARGAS**

En el ámbito internacional del Uruguay, el transporte de pasajeros tanto sea regular como de turismo, y el transporte de cargas se desarrollan en el marco del Convenio de Transporte Internacional Terrestre, suscrito en Mar del Plata (Argentina) en 1977, que es hoy ley en todos los países del Cono Sur, es decir Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay, Perú y Uruguay.

Complementariamente, se realizan acuerdos entre los Organismos de Aplicación del Convenio que regulan aspectos operativos del tráfico bilateral entre países, dentro del marco del referido Convenio.

Mediante los mencionados acuerdos se han establecido líneas regulares internacionales de autotransporte de pasajeros, que atienden por empresas a ambos países en condición de igualdad en cuanto al número de turnos de cada bandera aunque el número de empresas puede ser diferente.

En cuanto al tráfico bilateral de cargas Uruguay ha realizado acuerdos con Argentina, Brasil y Paraguay, estableciendo cupos de capacidad estática. Cada parte distribuye el cupo de capacidad entre sus empresas, las que una vez habilitadas intervienen en el mercado de transporte en competencia libre.

El Tratado para la formación del Mercado Común del Sur (Mercosur) supone la libertad de circulación de bienes, servicios y factores productivos. Se hace necesario una coordinación de políticas macroeconómicas y sectoriales, en particular de transporte. En tal sentido se están analizando, por los grupos de trabajo V y VI, de transporte terrestre y transporte marítimo respectivamente, temas tales como: las normativas de tránsito y transporte vigentes, acuerdos existentes, las inversiones en infraestructura y la reestructuración de las empresas involucradas en las cadenas de transporte.

## 4.6 NORMATIVAS DE TRANSITO

El uso del sistema vial se haya regulado por normas que se relacionan con dos áreas fundamentales: tránsito y transporte.

La Dirección Nacional de Transporte es el ente regulador de la política de transporte a nivel nacional e internacional de pasajeros y de carga en rutas y caminos nacionales (también abarca al transporte fluvial y marítimo). Posee dos Direcciones Generales, la de Transporte por Carretera y, la de Transporte Fluvial y Marítimo. En la parte de Transporte por Carretera, posee dos Divisiones (carga y pasajeros) y, dentro de cada una, dos Departamentos: de cargas nacionales e internacionales y, de servicios de pasajeros regulares y ocasionales (Turismo).

El “Reglamento Nacional de Circulación Vial” (Decreto 118/84 del 23/3/84) establece las normas aplicables a todos los usuarios de la vía pública (once títulos: conductores, vehículos, circulaciones, señalización, accidentes, sanciones, etc.). Su aplicación se restringe a las vías de jurisdicción nacional. En las vías departamentales rigen las diferentes Ordenanzas de tránsito. En suma, existen una veintena de normativas de circulación en nuestro país.

Las características de los vehículos, en cuanto a dimensiones, luces y reflectantes, frenos y otros elementos que deben poseer según su tipo, se encuentran detalladas en el Título III.

Asimismo los pesos máximos permitido, están regulado por el “Reglamento de límite peso para vehículos que circulan por rutas nacionales” (Dec. 326/86 del 25/6/86 y modificativos) y fue objeto de análisis anteriormente.

Esas normas referentes a dimensiones y pesos, se relacionan con la seguridad de la circulación y el adecuado uso de la infraestructura, pero tienen también íntima relación con aspectos operativos del transporte, particularmente el de cargas, por cuanto atañen a la capacidad de los vehículos y a los costos de operación y, de construcción y mantenimiento.

Recientemente se creó por ley la Unidad Nacional de Seguridad Vial (UNASEV) N° 18113 y la ley Nacional de la Seguridad y Tránsito N° 18191.

Esta última contempla varios puntos, en particular:

- Aprueba un cuerpo normativo en materia tránsito para todo el país y el mismo fue declarado de Orden Público.
- La ley posee disposiciones expresas en relación al tránsito y la seguridad vial que reafirman la protección a la vida humana y a la integridad psicofísica de las personas
- Se disminuirá gradualmente el margen legal permitido de alcohol de 0.8 a 0.3

- gramos por litro en sangre
- Uso obligatorio del cinturón de seguridad en asientos delanteros y traseros. Se destaca especialmente la obligatoriedad a vehículos que trasladan escolares en todos los asientos
  - Los vehículos deberán poseer un contrato de seguro de responsabilidad civil por daños a terceros
  - Se amplía a todos los cuerpos fiscalizadores del país el control de espirometría. Por la presente ley, se autoriza además a los inspectores Municipales y del Ministerio de Transporte
  - Uso obligatorio de casco para motocicletas
  - Uso obligatorio de señales luminosas o reflectivas en bicicletas, en vehículos a tracción a sangre y en sus conductores
  - Todos los conductores de vehículos que hacen transporte colectivo de pasajeros no debenn poseer ningún valor de alcohol en sangre: tolerancia 0
  - Habilita el retiro de vhículos
  - Uso obligatorio en forma permanente de las luces cortas
  - Se habilita el retiro de la licencia de conducir en caso de constatarse que el conductor de un vehículo por encima de los parámetros legales de alcohol permitidos
  - Inspección técnica obigatoria en vehículos

## **4.7 BIBLIOGRAFÍA**

- Transportation Research Borrada, “Highway Capacity Manual”, SR 209, Washington. Versión en español, 1989, Madrid.
- FACELLO, L. “EL uso del automóvil en la circulación urbana y sus consecuencias sobre el medio ambiente”, Montevideo 1995.
- Reglamento Nacional de Circulación Vial, Montevideo.
- Ley.

## CAPITULO 5

### EL ANÁLISIS DE DEMANDA EN LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS DE TRANSPORTE

La Justificación Comercial o Estudio de Mercado es un componente básico en la formulación de proyectos y mantiene su presencia en cada una de las etapas básicas del proceso de análisis: [Identificación de Ideas](#), [Prefactibilidad](#) y [Factibilidad](#).

El Estudio de Mercado procura conocer el mercado de un servicio o producto.

#### El Estudio de la Demanda dentro de la Justificación Comercial

El objetivo central de la Justificación Comercial se centra en el consumidor y la satisfacción de sus necesidades.

El estudio de la demanda cubrirá dos aspectos básicos:

1. [El pronóstico de la demanda efectiva total.](#)
2. [El pronóstico de la demanda específica del proyecto.](#)

#### Características básicas del estudio de la demanda

1. [Necesidad de series históricas](#): la previsión consiste en extrapolar hacia el futuro o identificar las variables explicativas y pronosticar el desarrollo futuro de la variable explicada.
2. [Horizonte temporal de proyección de largo plazo](#): la previsión debe cubrir toda la vida útil del proyecto. La subdivisión se realiza en períodos menores, convirtiendo el año en la unidad de medida del tiempo; financieramente, se adopta la convención que los flujos correspondientes a un año determinado se originan en el último día de dicho período (se trabaja con rentas vencidas).
3. [Análisis de tendencia](#). Existen fluctuaciones: evolución de la tendencia a largo plazo, oscilaciones coyunturales, estacionalidad y alteraciones de naturaleza aleatoria. El estudio estadístico permite descomponer la serie de los valores del consumo en una suma o producto de términos que explican cada parte de la evolución del fenómeno observado.
  - Las tendencias, generalmente, muestran perfiles lineales o exponenciales y responden a factores estructurales como el aumento del nivel de ingreso o el crecimiento de la población.

- Períodos más cortos (3 a 7 años) muestran variaciones sinusoidales (oscilaciones cíclicas).
- La estacionalidad semanal, mensual o anual muestra perfiles casi iguales de año en año.
- Las alteraciones de carácter errático traducen lo aleatorio de ciertas variaciones en la serie (causas casi imposibles de medir).

Cada uno de los valores observados de la demanda de un bien puede considerarse como la consecuencia de la superposición de diversas variaciones de naturaleza diferente. Cada punto de la serie puede descomponerse de alguna de las siguientes formas:

Modelo aditivo:

$$y_t = T_t + C_t + S_t + \mu_t$$

Modelo multiplicativo:

$$y_t = T_t \times C_t \times S_t \times \mu_t$$

donde:

$y_t$	= demanda en el período t
$T_t$	= tendencia
$C_t$	= componente cíclico
$S_t$	= componente estacional
$\mu_t$	= componente aleatorio

Modelo aditivo

La acción de c/u de los componentes sobre el valor total observado es independiente de los valores adoptados por los demás componentes.

Modelo multiplicativo

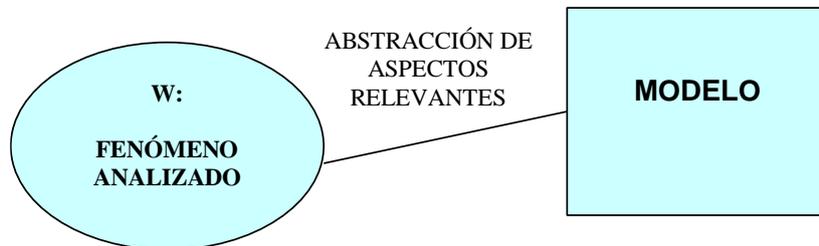
El efecto de la sazonalidad se expresa con una amplitud tanto más grande cuanto la tendencia es más elevada.

4. **Incertidumbre en las proyecciones.** El futuro es incierto; todas las estimaciones se efectúan en un marco de incertidumbre. Por ello se formulan escenarios de proyección (p. ej. optimista, pesimista y normal). Otra forma es introducir el análisis de riesgo en

las predicciones, abandonando el determinismo e introduciendo la probabilidad. Así, los factores relevantes son considerados bajo la forma de variables aleatorias a las que es posible asignar, por lo menos, una distribución subjetiva de probabilidades, computándose todos los valores que puede registrar una variable acompañados por la probabilidad de ocurrencia asociada a c/u.

## Generalidades de Modelación

Un modelo es, esencialmente, una representación de la realidad, una abstracción que se utiliza para lograr mayor claridad conceptual acerca de la misma, reduciendo su variedad y complejidad a niveles que permitan comprenderla y especificarla en forma adecuada para el análisis.



Relación modelo-realidad

Normalmente, en un modelo se expresan en formas simplificadas las características más relevantes (para el caso estudiado) de un cierto fenómeno o situación real.

### Tipos de modelos

- a) **Modelos físicos:** maquetas, túneles de viento, modelos de canales y represas. Son adecuados para tratar ciertos problemas físicos, pero están claramente limitados al aspecto de diseño.
- b) **Modelos abstractos.** En estos casos, la situación real se representa por símbolos y no por mecanismos físicos. De este modo son mucho más útiles para el planificador, ya que trasladan su atención desde los aspectos tridimensionales del diseño a la representación de relaciones funcionales y a los procesos básicos de cambio en los sistemas analizados. Permiten investigar el comportamiento del sistema y sus reacciones frente a determinados estímulos; además, son mucho más comunes que los modelos físicos. Dentro de los modelos abstractos se sitúan los llamados *modelos matemáticos*. En éstos, las relaciones postuladas se formalizan en series de ecuaciones algebraicas que contienen dos tipos de variables:
  - **Variables exógenas**, independientes o explicativas, cuyos valores numéricos se determinan fuera del modelo.
  - **Variables endógenas** o dependientes, cuyo valor resulta de la operación del modelo.

Dentro de los modelos matemáticos, a su vez, se pueden distinguir:

- [Modelos predictivos](#), que buscan determinar la causalidad entre las variables, a fin de plantear relaciones funcionales que tengan una cierta constancia en el tiempo.
- [Modelos normativos](#), que se construyen con el propósito de producir estimaciones acerca del comportamiento del sistema frente a objetivos definidos. Este tipo de modelos debe incorporar metas y restricciones (por ejemplo, un modelo para mejorar la accesibilidad de un área).

Además de complejos, los modelos normativos adolecen de un problema grave, que es que los resultados que entregan son, en gran medida, una proyección del pensamiento del creador del modelo. Atento a que el estado del arte no ha evolucionado mucho (se requieren técnicas matemáticas de gran complejidad), el uso de los modelos normativos está limitado a ejemplos sencillos.

Los modelos más útiles en la actualidad son los predictivos. Son utilizados en planificación de transporte desde principios de la década de los 50. A pesar de su gran popularidad, tienen limitaciones: éstas se ven acentuadas al ser utilizados en ingeniería de transporte, ya que los problemas analizados se caracterizan por:

- Considerar la interrelación entre un gran número de variables.
- Estar asociados a una amplia gama de objetivos que operan simultáneamente y que, en algunos casos, desafían incluso una definición clara, pues muchas variables son intangibles o incuantificables.
- Corresponder a fenómenos sobre los cuales no hay teorías buenas o bien definidas, ya que los sistemas y sus procesos de cambio no han sido aún bien entendidos.

Como contrapartida, se reconoce que el uso de modelos es de gran ayuda para el desarrollo y la experimentación de teorías. En la práctica, uno de los problemas más limitantes es el de la información, ya que aún los modelos más simples requieren gran cantidad de datos.

### Problema básico de la modelación

Es la estimación de las variables endógenas.

## Premisas teóricas del estudio de la demanda

Elementos básicos vinculados a:

Micro-economía: análisis de los principios básicos de la demanda de bienes.

Econometría: estudio de modelos lineales uniecuacionales, contruidos en base al análisis de regresión simple o múltiple por el método de los mínimos cuadrados y modelos probabilísticos.

### Teoría de la demanda

Deriva de la teoría de las preferencias del consumidor.

El consumidor individual toma sus decisiones tomando en cuenta que cada bien o servicio tiene un denominador común: su utilidad. El objetivo del consumidor es maximizar la satisfacción que puede obtener de un determinado nivel de ingreso monetario.

El proceso de maximizar la utilidad conduce a que el consumo total de un bien “X” o función-demanda del bien, en el período “t” dependa de:

$$Q_{X_t} = f ( P_X, Y, P_R, U )$$

con:

$P_X$  = precio del bien X

$Y$  = Ingreso del consumidor

$P_R$  = Precio de los bienes relacionados

$U$  = Gustos y preferencias del consumidor

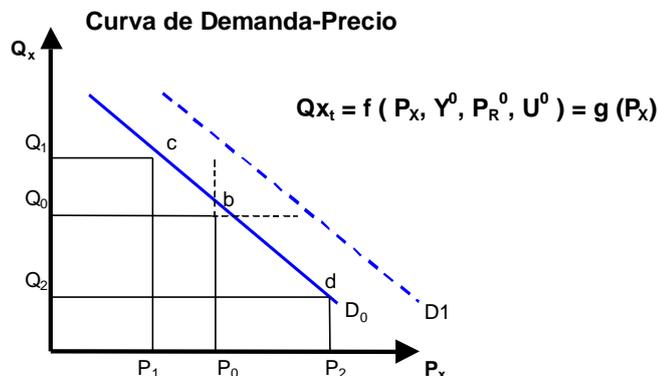
La transición de la demanda individual a la de mercado implica la suma de las demandas individuales. En este caso, además de las variables vistas, intervienen la población y su distribución geográfica y por edades.

### Curva demanda-precio

Lugar geométrico de los puntos que indican las cantidades máximas de un producto/servicio que serán compradas por el grupo de consumidores a diferentes precios,

suponiendo las demás variables constantes. Alternativamente, precios máximos que pagaría el grupo pertinente por ciertas cantidades del producto, suponiendo que el nivel de ingreso del grupo, el precio de los productos relacionados y demás factores determinantes permanecen constantes.

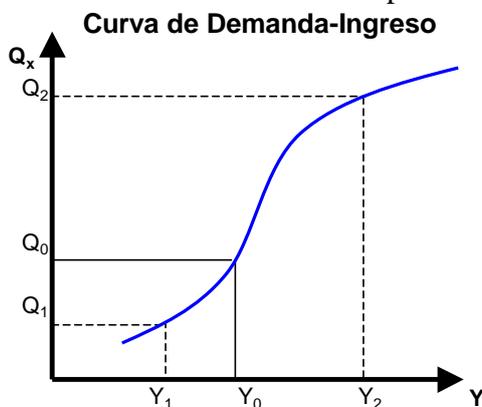
La curva de demanda muestra la relación entre precios y cantidades para un determinado nivel de las otras variables; una función de demanda es una relación entre las cantidades demandas y todas las variables que afectan al consumo.



Puesto que en el caso del transporte por facilidades de libre circulación no existe un precio de mercado, se considera que el pago del servicio está representado por una relación directamente ligada al costo en que debe incurrir el usuario para disponer de una unidad de servicio.

Curva demanda-ingreso

Lugar geométrico de las combinaciones de equilibrio que se producen cuando varía el nivel de ingreso y los demás factores condicionantes permanecen constantes. Tiene pendiente positiva en toda su extensión cuando los bienes son superiores o normales.



### Elasticidad-precio de la demanda

La elasticidad de cualquier función es un número que indica el cambio proporcional de la variable dependiente causado por un pequeño cambio en la variable independiente. La elasticidad-precio de la demanda mide el efecto sobre la cantidad demandada de una pequeña alteración del precio:

$$e_p = \frac{\text{cambio relativo en la cantidad demandada}}{\text{cambio relativo en el precio}} = \frac{\Delta Q/Q}{\Delta P/P} = \frac{\Delta Q}{\Delta P} \times \frac{P}{Q}$$

En rigor matemático, la definición de elasticidad es válida para cambios infinitesimales de P y de Q:

$$e = \frac{\partial Q}{\partial P} \times \frac{P}{Q}$$

### Elasticidad-ingreso de la demanda

Variación porcentual que experimenta la cantidad demandada ante un cambio en el ingreso de los consumidores.

$$E_Y = \frac{\Delta Q/Q}{\Delta Y/Y} = \frac{\Delta Q}{\Delta Y} \times \frac{Y}{Q}$$

El cociente  $\Delta Q/\Delta Y$  representa la propensión marginal a consumir y se la define como la proporción de los aumentos en el ingreso que se destina al consumo.

Para una función continua, la propensión para incrementos infinitesimales del ingreso y del consumo es la derivada de la función consumo respecto a su variable independiente, o sea, el ingreso y se expresa:

$$PMC = \frac{\partial Q}{\partial Y}$$

## **Métodos de proyección de la demanda**

El pronóstico de la demanda consiste en estimar la cuantía de los bienes o servicios provenientes del proyecto que la comunidad estaría dispuesta a adquirir a ciertos precios, durante un determinado período de tiempo que coincide con la vida útil de la inversión.

Previsión sin datos estadísticos: ante ausencia de información cuantitativa seriada, el analista debe apoyarse en proyecciones del comportamiento de los consumidores.

Comparaciones internacionales: El perfil de la demanda de algunos bienes, en ocasiones resulta similar en diferentes países, con cierto desfase en cuanto a diferencias en el ingreso y otros factores.

Posibilidad de sustitución de importaciones.

Uso de coeficientes técnicos: se aplica para la proyección de la demanda de productos intermedios.

Extrapolación de la tendencia: Consiste en establecer una línea de ajuste a partir de series históricas y estimar la demanda futura a partir de tal línea. Supone que los acontecimientos determinantes de la tendencia se mantendrán en el futuro (hipótesis de los efectos compensados). Impone tres problemas sucesivos:

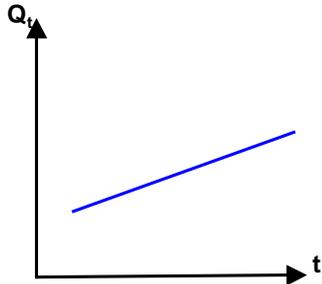
1. Elección de la línea de ajuste
2. Búsqueda de un método para ajustar la curva
3. Estimación de una previsión o de un intervalo de previsión para un tiempo futuro.

### 1. Elección de la línea de ajuste

No se trata sólo de buscar una curva que pase cerca de los puntos de la serie, sino que debe también reflejar un conocimiento cualitativo del mercado.

**a) Crecimiento aritmético de cifra constante**

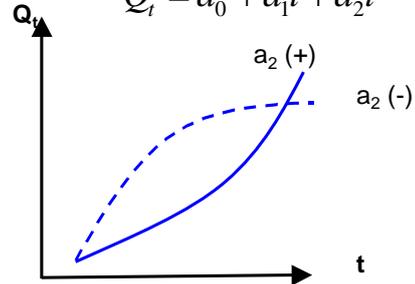
Recta del tipo:  $Q_t = a \times t + b$



**b) Tendencia polinomial**

En general, polinomio de segundo grado (parábola), del tipo:

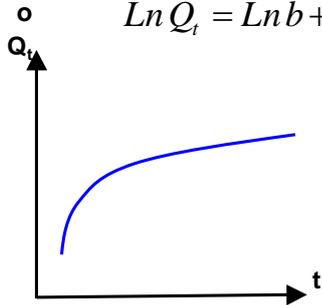
$$Q_t = a_0 + a_1t + a_2t^2$$



**c) Función potencial**

Curva del tipo:  $Q_t = bt^a$

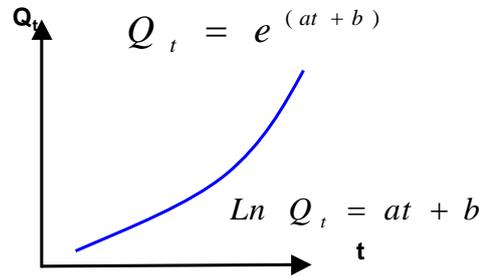
$$\ln Q_t = \ln b + a \ln t$$



**d) Crecimiento exponencial**

En general, todos los fenómenos económicos cuya evolución está estrechamente ligada al crecimiento demográfico o al de la actividad económica, evolucionan según una función exponencial, del tipo:

$$Q_t = e^{(at + b)}$$

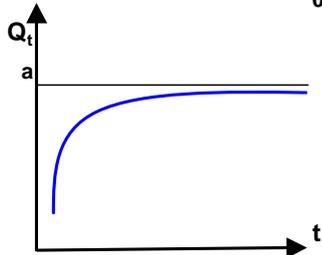


**e) Crecimiento asintótico (o con saturación)**

La demanda puede ofrecer una fase inicial de rápido crecimiento y posterior enlentecimiento hacia un comportamiento asintótico a un límite superior como consecuencia de la saturación del mercado. Son curvas de los tipos siguientes:

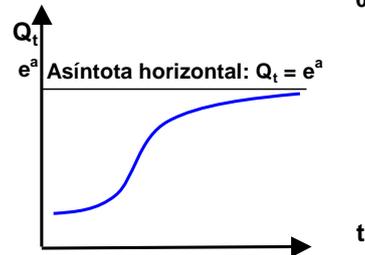
**i) Exponencial modificada**

$$Q_t = a - br^t \quad \text{con: } a, b \geq 0 \quad 0 \leq r < 1$$



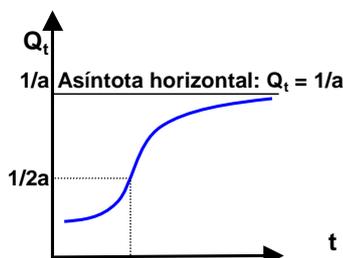
**ii) Curva Gompertz**

$$\ln Q_t = a - br^t \quad \text{con: } a, b \geq 0 \quad 0 \leq r < 1$$



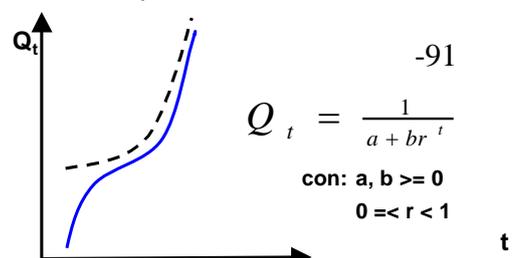
**iii) Curva Logística**

$$Q_t = \frac{1}{a + br^t} \quad \text{con: } a, b \geq 0 \quad 0 \leq r < 1$$



**iv) Curva Logística modificada**

Puede haber una fase inicial de despegue muy rápido y luego una saturación conduzca a la serie a acompañar el crecimiento del mercado potencial. Se elige así como asíntota la curva que representa el crecimiento de ese mercado potencial.



$$Q_t = \frac{1}{a + br^t} \quad \text{con: } a, b \geq 0 \quad 0 \leq r < 1$$

## 2. Ajuste de la curva

Es el procedimiento de calcular los valores de los coeficientes de las ecuaciones (calibración).

*Para formas lineales de las ecuaciones:* se puede obtener mediante la aplicación del método de los mínimos cuadrados - ecuaciones a) a d) -. Para el caso de una curva como la “logística modificada”, la función  $G(t)$  de crecimiento del mercado potencial se suele estimar por separado. A continuación se calculan los coeficientes  $b$  y  $r$  por el método de los mínimos cuadrados en la ecuación lineal transformada:

$$\text{Ln} \left( \frac{G(t)}{Q_t} - 1 \right) = \text{Ln } b + t \text{ Ln } r$$

*Para formas no lineales de las ecuaciones,* “exponencial modificada”, Gompertz y logística, los parámetros a estimar “a”, “b” y “r”, no figuran bajo forma lineal. La logística puede transformarse en una curva del tipo “exponencial modificada” considerando la serie de valores  $1/Q_t$  que conduce a una tendencia de la forma  $a + br^t$ .

## 3. Previsión para períodos futuros

Una vez seleccionada y ajustada la curva de la tendencia de la demanda  $f(t)$  la serie cronológica se presenta como:

$$Y_t = f(t) + \varepsilon_t$$

El último término es un término aleatorio que pone de manifiesto el residuo no explicado por la variable independiente (media cero, varianza constante e independiente de  $t$  lo que implica que la varianza es cte. en todas las observaciones – homocedasticidad -, valores del término aleatorio que se obtienen en forma independiente unos de otros).

Métodos econométricos: la técnica anterior sólo contempla los valores históricos de la variable a proyectar y sólo toma en cuenta una variable exógena ( $t$ ) que no es explicativa de la demanda estimada. Un modelo que explicita las relaciones entre las variables explicativas y la demanda supone siempre la estabilidad en el futuro de dichas relaciones, pero no implica para las variables exógenas la continuación estabilizada de su evolución pasada. De hecho, el método toma especialmente en cuenta toda modificación en dicho comportamiento que pueda ser anticipada.

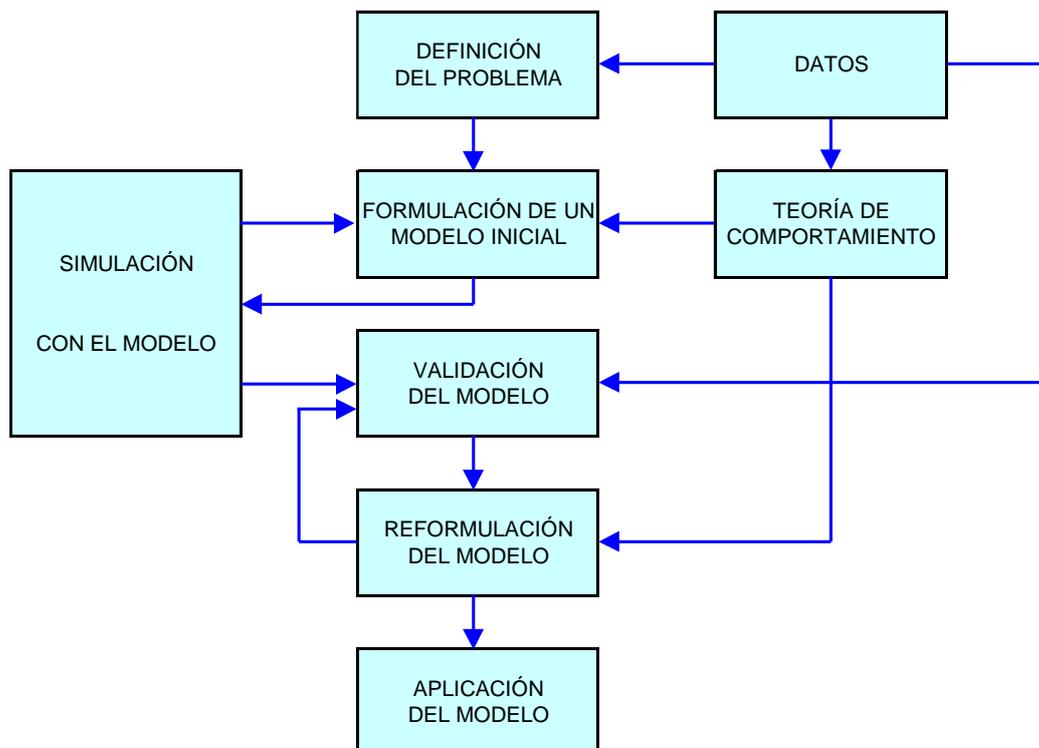
El objetivo de los métodos econométricos consiste simultáneamente en expresar mediante una relación precisa y formal las vinculaciones existentes entre la demanda y otros fenómenos económicos y en establecer el grado de confianza que se puede tener respecto a

dichas relaciones.

## Formulación de modelos

No existe total claridad acerca de cómo nace o se genera un modelo. Sin embargo, podemos ver un enfoque general que sirve de ayuda para entender este proceso. Cualquier enfoque realista debe ser iterativo, ya que cada etapa puede, en su desarrollo, sugerir nuevas ideas o mejorar las anteriores.

### Estructura general del modelo de transporte



La siguiente lista de aspectos para ayudar a diseñar un modelo:

- Propósito con que se está construyendo el modelo.
- Variables que se debieran incluir especificando cuáles son controlables por el modelador.
- Nivel de agregación que se debiera utilizar.
- Tratamiento del tiempo.
- Teoría que se está representando con el modelo.
- Técnicas estadísticas y matemáticas disponibles para construir el modelo.
- Métodos para calibrar y probar (validar el modelo).

## Especificación de modelos

Dentro de este tema debe considerarse:

- a) Estructura del modelo: ¿Es posible replicar el sistema que debe ser modelado con una estructura sencilla (p.ej. asumiendo que todas las opciones son independientes)? ¿o es necesario construir modelos complejos que funcionen sobre la base del cálculo de probabilidades de elección condicionales en selecciones previas?
- b) Forma funcional: ¿Es posible utilizar funciones lineales o el problema requiere la especificación de funciones no lineales?
- c) Especificación de variables: Implica decidir qué variables usar y cómo (en qué forma) deben entrar al modelo.

## Errores de Modelación y Predicción

La mayoría de los procedimientos estadísticos utilizados en la estimación de modelos asumen, implícita o explícitamente, que tanto los datos como la forma funcional del modelo se conocen en forma exacta. En la práctica, sin embargo, a menudo se violan estas condiciones.

- a) [Errores de medición, codificación y digitación de los datos](#) (típicamente mayores en países en desarrollo), que crecen con el refinamiento o sofisticación de las variables a medirse, pero que pueden reducirse invirtiendo más dinero en supervisión y entrenamiento, y en verificación de datos.
- b) [Errores de muestreo](#), provenientes de la consideración de muestras finitas en lugar de la población completa. Son errores que tienden a ser proporcionales a la raíz cuadrada del número de observaciones, por lo que su reducción puede ser muy costosa.
- c) [Errores de especificación](#) (p.ej. omisión de una variable relevante, forma funcional errónea, presencia de hábito o inercia de comportamiento).
- d) [Errores de calibración y predicción](#). Los primeros provienen de la utilización de técnicas de calibración parcialmente inexactas (la generalidad de los modelos se resuelve en forma iterativa y no tiene solución matemática exacta) y los segundos, de errores en la predicción a futuro de las variables independientes del modelo.
- e) [Errores de transferencia](#), al usar un modelo desarrollado para A (cierta área o época) en B (otra área o época), aún con los ajustes necesarios.
- f) [Errores de agregación](#). No es un problema sencillo; sin embargo, si se estima un modelo agregado, los errores pueden ser mayores.

Los errores de medición ocurren por la inexactitud con que se lleva a cabo la operación de medición. Por ejemplo, si se dice que la población de una ciudad es 180 mil habitantes, realmente se quiere decir 180 mil más/menos 5 mil personas. Por esto, en el ambiente

científico se suele indicar que una medición  $M$  cualquiera tiene asociado un error  $e$  de forma:

$$M \pm e$$

Para  $e$  se suele usar la desviación estándar, o el “error probable”, definido como la distancia desde la media ( $\mu$ ), tal que 50% de la distribución de probabilidades se encuentre dentro del intervalo  $\mu \pm e$ .

Los errores de especificación ocurren por no entender bien el problema o por querer simplificar demasiado el fenómeno que se desea representar.

Se puede decir que –en el fondo- lo único que un modelo hace es combinar mediante operaciones algebraicas varios números obtenidos de mediciones en terreno. El problema es que tradicionalmente sólo se considera el número y no su error asociado, quizás con la esperanza de que éstos se cancelen en el modelo.

### Propagación de errores

La fórmula siguiente estima el error de salida derivado de la propagación de los errores de entrada.

Si  $Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , entonces

$$e_z^2 = \sum (\partial f / \partial X_i)^2 e_{x_i}^2 + \sum \sum \partial f / \partial X_i \cdot \partial f / \partial X_j \cdot e_{x_i} \cdot e_{x_j} \cdot r_{ij}$$

en que  $e_z$  es el error de  $Z$ ,  $e_{x_i}$  es el error de medición de la variable  $X_i$ , y  $r_{ij}$  es el coeficiente de correlación entre  $X_i$  y  $X_j$ .

Esta fórmula es exacta si la función  $f$  es lineal y constituye una buena aproximación en otros casos. A partir de ella, se han derivado una serie de reglas sencillas para construir modelos que debieran evitar grandes errores de salida.

### Reglas de modelación

Regla 1: Evitar variables correlacionadas (si  $r_{ij} = 0$ , desaparece el segundo término de error en la ecuación). Para derivar el resto de las reglas, se considera un simple caso tridimensional:

Sea  $Z = f(X, Y)$  y supongamos que  $X = 10 \pm 1$ ;  $Y = 6 \pm 1$  y que, además,  $X$  e  $Y$  son independientes.

i) Suma:  $Z = X + Y = 10 + 6 = 16$ , aplicando la fórmula:

$$e_z^2 = e_x^2 + e_y^2 = 2 \Rightarrow e_z = 1,4$$

En la suma, el error absoluto de la variable dependiente aumenta (es mayor que el de las variables independientes); sin embargo, el error porcentual relativo disminuye ya que:

$1,4/16 = 8,8\%$ , que es menor que  $10\%$  y  $16,7\%$ , respectivamente; por lo tanto, la adición es relativamente benigna.

ii) Resta:  $Z = X - Y = 4$

$$e_z^2 = 2 \Rightarrow e_z = 1,4 \text{ (igual que antes)}$$

Sin embargo, esta operación, aparentemente tan sencilla como la otra, es *explosiva* en términos de error porcentual ( $35\%$ ), especialmente cuando la diferencia es pequeña con relación a las variables independientes; por ejemplo, si

$$Y = 8 \pm 1 \Rightarrow Z = 2 \text{ y el error porcentual es } 1,4/2 = 70\%$$

iii) La multiplicación y la división, procediendo de igual forma, aumentan el error absoluto y el porcentual.

iv) La elevación a potencia es también, en general, explosiva; elevar a potencia puede considerarse como la multiplicación de dos variables perfectamente correlacionadas, esto es, con  $r_{ij} = 1$ .

Para resumir, entonces, las reglas de Alonso son:

- i) Evitar el uso de variables correlacionadas.
- ii) Sumar cuando sea posible.
- iii) Si no se puede sumar, multiplicar o dividir.
- iv) En tanto sea posible, evitar restar o elevar a potencia.

### El valor de mejorar los datos

Si se toma la derivada parcial del error en  $Z$ , respecto del error en una de las variables independientes,  $X_i$ , se puede calcular la tasa de mejora que se obtendría al medir esa variable en forma más exacta. Despreciando el término debido a la correlación, queda:

$$\partial e_z / \partial e_{X_i} = (\partial f / \partial X_i) \cdot e_{X_i} / e_z$$

Considerando estas tasas marginales de mejoramiento y una estimación del costo de mejorar los datos (tomando una muestra mayor, por ejemplo) es posible –en teoría– determinar el presupuesto óptimo para mejorar un conjunto de datos. Se derivan de inmediato dos reglas:

- i) Se debe concentrar el esfuerzo en las *variables importantes*, es decir, aquellas que tienen un mayor  $(\partial f/\partial X_i)$ , puesto que afectan con más fuerza a la variable dependiente.
- ii) Se debe tratar de mejorar la medición de aquellas variables con un error ( $e_{X_i}$ ) grande.<sup>1</sup>

---

1 Ejemplo: consideremos el modelo  $Z = xy + w$ , en que al medir las variables independientes, se han obtenido los siguientes resultados:

$$x = 100 \pm 10 ; y = 50 \pm 5 ; w = 200 \pm 50.$$

Además, se sabe que el costo marginal de mejorar cada dato es el siguiente:

Costo marginal de mejorar x (a  $100 \pm 9$ ) = \$ 5.000

Costo marginal de mejorar y (a  $50 \pm 4$ ) = \$ 6.000

Costo marginal de mejorar w (a  $200 \pm 49$ ) = \$ 20

Aplicando la fórmula de propagación de error, se obtiene:  $e_z^2 = y^2 \cdot e_x^2 + x^2 \cdot e_y^2 + e_w^2 = 502.500 \Rightarrow e_z = 708,87$

Procediendo en forma análoga, se tendría que valores de  $e_z$  mejorado serían, entonces:

- Debido a una mejora en x: 674,54
- Debido a una mejora en y: 642,26
- Debido a una mejora en w: 708,80

Aplicando ahora la fórmula del error en z respecto de  $X_i$ , tenemos:

$$\begin{aligned} \partial e_z / \partial e_x &= y^2 \cdot 10 / 708,87 = 35,2 \\ \partial e_z / \partial e_y &= 70,5 ; \partial e_z / \partial e_w = 0,0705 \end{aligned}$$

Estas tres últimas son *tasas de mejora marginales* correspondientes a cada variable. Para calcular el costo de mejora marginal en  $e_z$ , se debe dividir el costo marginal de mejorar cada variable por su tasa de mejora marginal respectiva, lo que no da:

Costo marginal de mejorar  $e_z$ , proveniente de:

- Mejora marginal en x = \$ 142,05 (5000/35,2)
- Mejora marginal en y = \$ 85,11 (6000/70,5)
- Mejora marginal en w = \$ 2833,69 (20/0,0705)

Así, si la reducción marginal en  $e_z$  vale al menos \$ 85,11, convendría mejorar la variable y.

## **Metodologías de recolección de información**

Refiere a temas de recolección de datos y su representación para ser usados en modelación de transporte.

Las limitaciones prácticas tienen fuerte influencia en determinar cuál es el tipo de encuesta más apropiado en una situación determinada. Las restricciones principales más frecuentes en estudios de transporte son:

- a) Duración del estudio. Tiene gran importancia, ya que determina cuánto tiempo y esfuerzo es posible dedicar a la etapa de recolección de datos.
- b) Horizonte de predicción, que plantea dos problemas posibles:
  - Si el año de diseño está muy cerca no va a haber mucho tiempo disponible.
  - Normalmente en estudios estratégicos se busca predecir a 20 o más años de plazo, esto implica, típicamente que habrá un gran error asociado a la predicción que sólo se conocerá en 20 o más años; por lo tanto el plan debe ser flexible.
- c) Límites del área de estudio. El área de interés y el área de estudio deben ser diferenciadas (la primera es generalmente mayor, ya que en 20 años se debiera esperar que el área de estudio se desarrolle).
- d) Recursos. Se necesita conocer más o menos clara y detalladamente, cuánto personal y de qué nivel estará disponible para el estudio, facilidades computacionales y restricciones para su uso.

### **Zonificación**

El sistema de zonas se utiliza para congrega los hogares individuales, oficinas y otros lugares de trabajo o servicios, en grupos más manejables desde el punto de vista de la modelación. Las dos dimensiones claves de un sistema de zonificación son el tamaño y el número de zonas, que por supuesto están relacionadas.

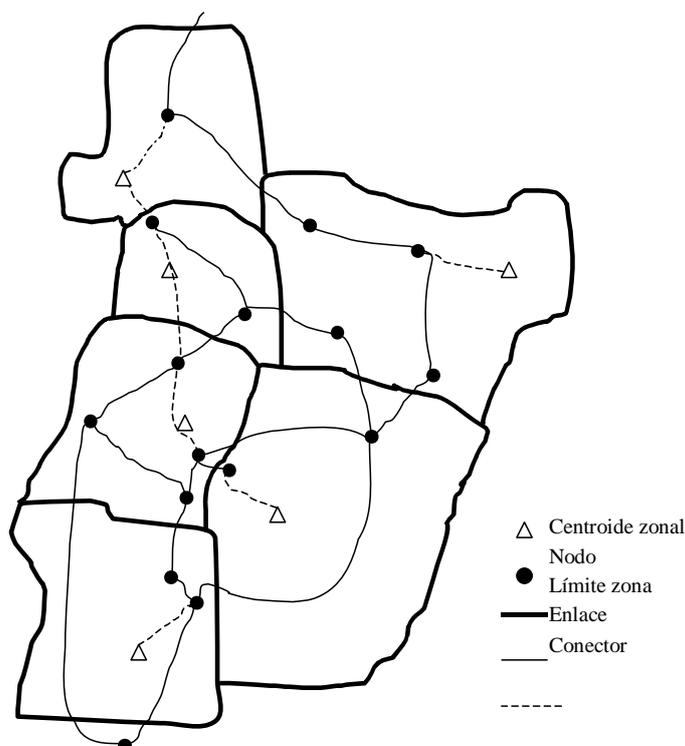
Criterios: compatible con otras divisiones administrativas; suponer todas sus actividades en el centroide; homogéneas en cuanto al uso del suelo y/o la composición de la población; límites compatibles con cordones internos y líneas de pantalla; límites no definidos por arterias viales importantes, forma que permita una fácil determinación del centroide (usar centro ponderado de densidades poblacionales y no su centro geográfico si resulta una forma irregular).

### **Representación de la red**

En un modelo computacional, la descripción de la red de transporte puede hacerse a

distintos niveles de detalle y requiere la especificación de su estructura, sus propiedades o atributos, y la relación entre éstos y los flujos de tránsito.

Normalmente, la red se modela como un grafo dirigido, esto es, un sistema de nodos y enlaces que los unen; la mayoría de los nodos representan intersecciones y los enlaces representan secciones homogéneas de vía entre ellas. Los enlaces se caracterizan por varios atributos, tales como longitud, curvas flujo-velocidad y capacidad (asociada al número de pistas). Un subconjunto de los nodos se asocia a los centroides de las zonas, y un subconjunto de los enlaces corresponde a los conectores de centroides.



### Elementos de periodización

Para estimar los beneficios de un proyecto en una determinada época, se deben predecir las condiciones de operación de cada alternativa considerada en la red estratégica que representa al área de estudio. Como las condiciones de operación varían con los flujos, frecuencias y capacidades, y éstos, a su vez, varían dentro de cada día, semana, mes o año, no es correcto efectuar predicciones con los valores promedio de estas variables para la época estudiada, ya que las demoras, consumo de combustible y otras fuentes de beneficios, no son lineales con el flujo y capacidad.

En el caso urbano, se acepta como criterio único de periodización el impacto del flujo en

términos de *demoras*. El requisito es conseguir que la demora total, estimada con los valores promedio de los flujos y capacidades sobre el conjunto de intervalos que conforman el período, difiera poco de la que se obtendría estimándola separadamente para cada uno. Esto conduce típicamente a tres períodos: punta de la mañana, punta de la tarde y fuera de punta.

En el caso interurbano, la selección se basa en el nivel de flujo circulante en el área estudiada. Para definir la periodización, se requiera información histórica que permita, en primer lugar, distinguir estacionalidades (p.ej. períodos de invierno, primavera y verano) y dentro de cada una sub-períodos (de duración semanal o incluso diaria), tales como alta laboral, fin de semana, punta de ida o regreso. Finalmente, en cada sub-período se deben seleccionar las horas más representativas y se debe definir en cuáles de ellas se efectuará la recolección de información.

### Técnicas de recolección de información

Para predecir el comportamiento de los usuarios de un sistema de transporte, se han ocupado tradicionalmente técnicas basadas en la observación del comportamiento real de los individuos, es decir, el medio de transporte utilizado, el tiempo de viaje medido entre un par origen-destino, la tarifa del servicio, etc.; este conjunto de información constituye lo que se denomina "[preferencias reveladas](#)" (PR) ([sección transversal](#)). Sin embargo, las PR presentan problemas serios si se desea utilizarlas en el análisis de opciones que no estén presentes en el año base (p.ej., la introducción de un nuevo servicio) o cuando se intenta determinar el efecto de atributos relativamente subjetivos o difícilmente medibles como la seguridad o la comodidad.

Para modelar la demanda en los últimos años, ha surgido con fuerza un conjunto alternativo de técnicas, las "[preferencias declaradas](#)" (PD), que consisten en obtener respuestas de los individuos respecto a cómo actuarían en determinadas situaciones de elección hipotéticas. Por construcción, estas técnicas no poseen las desventajas de las PR, pero están sujetas a la indeterminación que significa no tener seguridad si los individuos actuarán realmente como lo han declarado cuando se presente la ocasión.

Se basan en juicios (datos) declarados por individuos acerca de cómo actuarían frente a diferentes situaciones hipotéticas que les son presentadas. Estas técnicas, originadas en la psicología matemática, tienen en común el uso de diseños experimentales para construir las alternativas hipotéticas; esto es, las diferencia de las técnicas de "[preferencias reveladas](#)" (PR), que utilizan datos sobre situaciones observadas, es decir, situaciones "reales". El objetivo de estas técnicas es estimar funciones de utilidad para las alternativas presentes en el experimento. Por su naturaleza, las metodologías de PD requieren del diseño de una encuesta con un propósito específico que depende del tipo de estudio a realizar.

Las alternativas de elección que se les plantean a los encuestados son, típicamente,

descripciones de una situación o contexto construido por el investigador, que se diferencian a través del valor que toman sus atributos.

### *PD versus PR*

Existen ventajas de las PD sobre las PR con respecto al costo y tiempo requerido para el análisis. Mientras las PR necesitan información adicional a las encuestas (por ejemplo el uso de modelos de redes para obtener los tiempos y costos de viaje para cada individuo), las encuestas de PD son totalmente autónomas, puesto que los escenarios planteados definen completamente las variables necesarias para la modelación; esto permite ahorrar gran cantidad de tiempo y otros recursos. De hecho, esta autonomía es la que elimina el error de medición en los datos (por ejemplo, al no utilizar modelos de redes en el cálculo de las variables de servicio se evitan los problemas de agregación espacial y errores de codificación de la red).

Sin embargo, las PD también presentan desventajas frente a las PR. La más importante de todas es que pueden existir grandes diferencias entre lo que los individuos declaran que harían en una determinada situación y lo que realmente harán si ésta se presenta. Además, existen ciertas predisposiciones (errores no aleatorios) debidas a experiencias anteriores, percepciones cotidianas de los encuestados, o interacción entre el encuestador y los encuestados, que pueden distorsionar la información obtenida a través de una encuesta de PD.

### Tamaño de las muestras

Para determinar el tamaño muestral se puede utilizar la siguiente expresión:

$$n \geq \frac{p(1-p)}{\left(\frac{e}{z}\right)^2 + \frac{p(1-p)}{N}}$$

donde n es el número de pasajeros a encuestar, p es la proporción de viajes con un destino predeterminado, e es un nivel aceptable de error (expresado como una proporción, z es la variable Normal estándar para el nivel de confianza requerido y N es el tamaño de la población (esto es, el flujo observado de pasajeros en la estación de control).

Para N, e y z dados, el valor p = 0,5 produce el valor más conservador (mayor) de n; así tomando este valor y considerando e = 0,1 (esto es un error máximo de 10%) y z = 1,968 correspondiente a un nivel de confianza del 95%, se obtienen los valores que se muestran en la tabla siguiente. Como los flujos en una estación de control pueden ser muy variables durante el día, puede ser muy complicado intentar implementar una estrategia como la de la tabla, por lo que puede ser recomendable utilizar una versión simplificada como se muestra en la segunda tabla.

<b>Variación del tamaño muestral con los pasajeros por hora</b>		
N (pasajeros/hora)	N (pasajeros/hora)	n/N (%)
100	49	49,0
200	65	32,5
300	73	24,3
500	81	16,2
700	85	12,1
900	87	9,7
1.100	89	8,1

<b>Tamaño de muestra en función del flujo horario</b>	
Flujo horario estimado (pasajeros/hora)	Tamaño muestral (%)
900 o más	10,0 (1 cada 10)
700 a 899	12,5 (1 cada 8)
500 a 699	16,6 (1 cada 6)
300 a 499	25,0 (1 cada 4)
200 a 299	33,3 (1 cada 3)
0 a 199	50,0 (1 cada 2)

## Conceptos básicos de muestreo

### Consideraciones estadísticas en diseño muestral

El objetivo del diseño muestral es asegurar que los datos a ser analizados provean la mayor cantidad de información útil al menor costo.

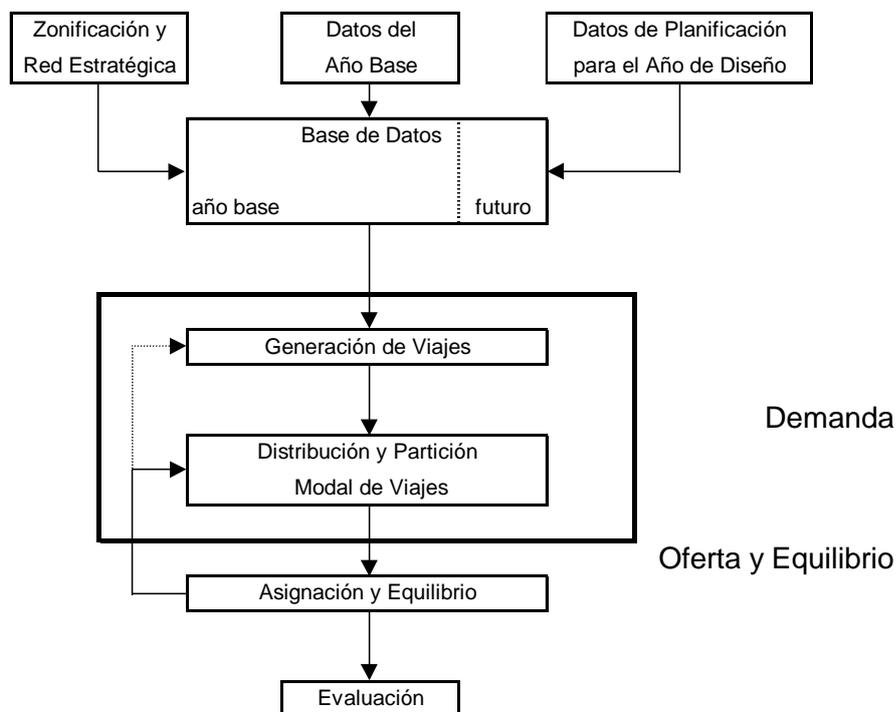
- a) Muestra: se define como una colección de unidades que constituye una proporción de una población mayor y que es especialmente seleccionada para representar a la población total.
- b) Población de interés: es el grupo completo para el que se desea recolectar información.
- c) Métodos de muestreo: la mayoría de los métodos aceptables se basan en alguna forma de muestreo aleatorio; lo fundamental en estos casos es que la selección de cada unidad se realice en forma independiente y que cada unidad en la población tenga la misma probabilidad de ser muestreada. Los métodos de mayor interés son:
  - Muestreo aleatorio simple, que no sólo es el método más sencillo, sino que constituye la base de los restantes. Consiste en asociar un número identificador a cada unidad en la población y luego seleccionarlos al azar para obtener la muestra. Así, teóricamente, la probabilidad de ser seleccionado es la misma para cada miembro de la población. El problema es que para garantizar esto pueden requerirse muestras muy grandes.
  - Muestreo aleatorio estratificado, en que se utiliza información a-priori para subdividir la población en estratos, de forma que las unidades al interior de cada una sean tan homogéneas como sea posible respecto a la variable estratificadora. Luego se muestrea aleatoriamente en cada estrato, ocupando la misma fracción muestral.
- d) Error muestral y sesgo muestral: son los dos tipos de error en que se puede incurrir al tomar una muestra y que, al combinarse, contribuyen al error de medición de los datos muestrales. El primero surge simplemente porque se está tratando con una muestra y no con la población total, vale decir, va a estar siempre presente a factores aleatorios.
- e) Tamaño muestral: no existen reglas claras para el cálculo del tamaño de la muestra en todo tipo de situaciones.

## EL MODELO DE TRANSPORTE MODERNO

El submodelo de asignación de viajes considera los aspectos de oferta y equilibrio oferta-demanda. En su versión original, sólo se encargaba de distribuir los viajes por cada medio de transporte entre las distintas rutas disponibles para cada par de zonas. Esta asignación se efectúa de modo de conseguir lo que se conoce como un *equilibrio de usuarios*. Este consiste simplemente en asegurar que en el equilibrio (cuando el modelo converge), todas las rutas seleccionadas tengan un costo mínimo e igual entre sí; es fácil ver que si esto no ocurre no habría equilibrio, ya que a algunos usuarios les convendría cambiar de ruta. El costo de cada ruta depende del flujo que circule por los arcos que la componen.

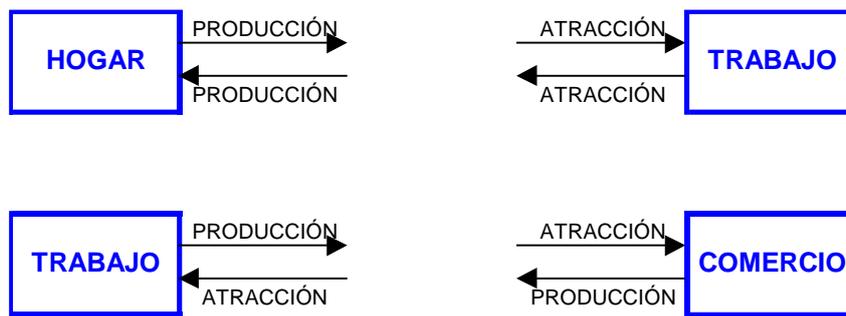
El submodelo es, en la actualidad, de oferta y equilibrio, puesto que cumple una labor bastante más compleja que el mero *equilibrio de tráfico* anterior. El problema es que cuando se asigna esta demanda a la red, sus arcos quedan cargados con flujos que no tienen por qué se iguales a los supuestos previamente para obtener los costos iniciales. Por ende, los costos varían, lo que puede (y de hecho sucede cuando existe congestión) afectar el número de viajes por cada medio entre cada par de zonas (esto es, la demanda que se debe asignar en el cuarto submodelo).

### **Visión moderna del modelo de transporte clásico**



## GENERACIÓN DE VIAJES

- i) Viaje: es el movimiento en un sentido desde un punto de origen a un punto de destino.
- ii) Viajes basados en el hogar (HB): son aquellos que tienen un extremo en el hogar de la persona que realiza el viaje independientemente de que éste sea el origen o el destino.
- iii) Viajes no-basados en el hogar (NHB): son aquellos que no tienen un extremo en el hogar del viajero.
- iv) Producción de viaje: se define como el extremo hogar de un viaje HB, o el origen de un viaje NHB.
- v) Atracción de viaje: se define como el extremo no-hogar de un viaje HB o el destino de un viaje NHB.



## Clasificación propósito de viaje

Se ha demostrado, y en la mayoría de los casos es obvio, que se debieran obtener mejores modelos de generación si se distinguen y separan los viajes con distintos propósitos.

- i) Viajes HB: normalmente se separan en cinco categorías: trabajo, compras, estudio, social y recreacional, y otros propósitos.
- ii) Viajes NHB: normalmente no se separan, ya que suelen alcanzar sólo el 15-20% de los viajes.

Para cada propósito, se acostumbra clasificar al menos en viajes en hora punta (peak) y fuera de punta (off-peak).

## **TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN DE VIAJES** **EN PLANIFICACIÓN URBANA**

A menudo, la proyección de la demanda de viajes es denominada como el proceso de “cuatro pasos”.

Dichos pasos son: generación de viajes, distribución de viajes, elección modal y asignación.

### **Generación de viajes**

La estimación de la generación de viajes busca determinar el número de viajes de personas o vehículos de y hacia actividades en el área de análisis.

Está relacionada al uso del suelo. Factores específicos que influyen en el número de viajes de una región incluyen: posesión de automóvil, ingreso, tamaño de los hogares, densidad y tipo de desarrollo, disponibilidad de transporte público y la calidad del sistema de transporte.

Los modelos de generación de viajes consisten en dos sub-modelos incluyendo modelos de producción de viajes (asociados con el hogar) y modelos de atracción de viajes (asociados a los extremos finales asociados con el final no-hogar del viaje).

Se utilizan manuales donde se computan las generaciones de viajes de acuerdo a los distintos usos del suelo.

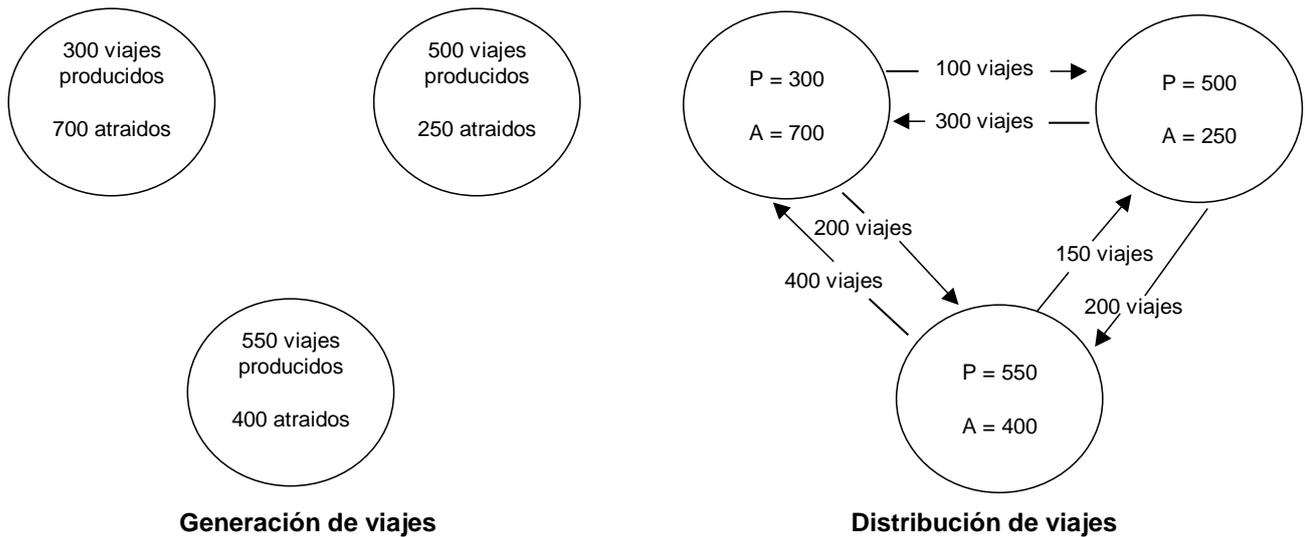
Las tasas se presentan bajo la forma de viajes de vehículos diarios promedio y porcentajes de viajes de vehículos durante las horas pico de la mañana y la tarde del generador.

Al final se deben equilibrar las producciones y atracciones regionales de viajes. Los viajes totales estimados producidos a nivel del hogar deben ser iguales al total de viajes atraídos en los centros de actividad.

### **Distribución de viajes**

La distribución de viajes vincula las producciones de viajes con las atracciones de viajes para cada par de zonas en el área de análisis. El factor crítico en la distribución de viajes es la facilidad de viaje entre las dos zonas bajo análisis. Influyen en ello la distancia entre las zonas y la eficiencia del sistema de transporte que las une.

El siguiente esquema es una representación esquemática de proceso de generación y distribución de viajes.



El procedimiento de distribución de viajes más usado es el [modelo gravitacional](#). Matemáticamente, se define como sigue:

$$T_{ij} = P_i \left[ \frac{A_j F_{ij} K_{ij}}{\sum_{k=1}^{zones} A_k F_{ik} K_{ik}} \right]$$

donde:

- $T_{ij}$  = número de viajes desde la zona  $i$  a la  $j$
- $P_i$  = número de viajes producidos en la zona  $i$
- $A_j$  = número de atracciones de viaje en la zona  $j$
- $F_{ij}$  = factor de fricción relativo a la separación espacial entre la zona  $i$  y la zona  $j$
- $K_{ij}$  = un ajuste opcional de la distribución de viajes para los intercambios entre las zonas  $i$  y  $j$

Los factores de fricción son inversamente proporcionales a la separación espacial de las zonas (mientras que el tiempo de viaje aumenta, el factor de fricción disminuye). El factor de fricción es la primer variable independiente y cuantifica la impedancia o medida de separación entre dos zonas.

Se ha descubierto que la función *gamma* funciona bastante bien para la distribución de viajes. Puede expresarse así:

$$F_{ij} = a \times t_{ij}^b \times e^{c \times t_{ij}}$$

donde:

- $F_{ij}$  = factor de fricción entre las zonas i y j  
a, b y c = coeficientes del modelo; tanto b como c son, en muchos casos, negativos; a es un factor de escala y puede variar sin cambiar la distribución

### **Asignación modal**

Es el paso más complejo de la modelización. El análisis de elección modal distribuye la totalidad de los viajes de personas zona a zona que resultan del modelo de distribución de viajes en viajes usando cada modo disponible entre el par de zonas. La modelación de la elección modal se usa también para evaluar mejoras en el sistema de ómnibus y estrategias de alta ocupación vehicular (HOV).

Los modelos están basados en la formulación logit. Se identifican las siguientes formulaciones:

- Logit multinomial simple,
- Logit incremental (punto de pivoteo)
- Logit empalmada

El tercer caso se está usando en grandes áreas urbanas donde hay modos de transporte público en competencia y muchos modos de acceso.

Para áreas urbanas pequeñas a medianas la evaluación de los servicios de ómnibus en competencia con el automóvil, es adecuada la formulación logit multinomial.

La formulación matemática generalizada de un modelo logit es una relación que estima la probabilidad de la elección de un modo específico usando la siguiente ecuación:

$$P_i = \frac{e^{u_i}}{\sum_{i=1}^k e^{u_i}}$$

donde:

$P_i$  = probabilidad de que un viajero elija el modo  $i$ ,  
 $u_i$  = una función lineal de los atributos del modo  $i$  que describe su atractivo, también conocida como la utilidad del modo  $i$ , y

$\sum_{i=1}^k e^{u_i}$  = sumatoria de las funciones lineales de los atributos de todas las alternativas,  $k$ , para las cuales la elección está disponible

La función lineal de los atributos, o función de utilidad  $u_i$ , se compone de:

$$u_i = a_i + b_i \times IVTT_i + c_i \times OVTT_i + d_i \times COST_i$$

donde:

$IVTT_i$  = los tiempos de viaje en el vehículo para el modo  $i$ ,  
 $OVTT_i$  = conjunto de variables que miden los tiempos de viaje fuera del vehículo para el modo  $i$  – caminata, espera y tiempos de transferencia

$COST_i$  = el costo del modo  $i$ ,  
 $a_i$  = coeficiente específico del modo (constante),  
 $b_i$  = coeficiente para las variables  $IVTT$  del modo  $i$ ,  
 $c_i$  = conjunto de coeficiente para las variables  $OVTT$  del modo  $i$ ,  
 $d_i$  = coeficiente para la variable  $COST$  del modo  $i$ .

### **Asignación del tráfico**

La asignación de tráfico es el último gran paso, tanto para calles como para el transporte público. La asignación de viajes en la red es el output final del proceso de modelación y se transforma en la base para la validación de la capacidad del modelo de replicar los patrones observados en el año base.

El proceso de asignación del tráfico se conduce por la relación de volúmenes asignados y las demoras causadas por la congestión. Si el volumen de tráfico aumenta, las velocidades de viaje descienden por aumento de la congestión.

La siguiente formulación es usada para estimar los tiempos de viaje de enlace como una función de la relación volumen – capacidad:

$$T_c = T_f \times \left( 1 + \alpha \times \left[ \frac{v}{c} \right]^\beta \right)$$

donde:

- $T_c$  = tiempo de viaje en el enlace congestionado,
- $T_f$  = tiempo de viaje en flujo libre en el enlace
- $v$  = volumen de tráfico asignado al enlace (vehículos)
- $c$  = capacidad del enlace, y
- $\alpha, \beta$  = coeficientes de volumen/demora (valores básicos de 0,15 y 4,0)

La introducción de lazos de retroalimentación en el modelo supone grados de refinamiento en un esfuerzo por crear un proceso que refleje más precisamente la interdependencia de sus componentes.

## CAPITULO 6

### 6.1. ECONOMIA DE TRANSPORTE

Con respecto a los costos de transporte carretero, sea de cargas o de pasajeros, existen diversas clasificaciones, así como metodologías de cálculo. Básicamente la determinación de los mismos depende de: el elemento a ser transportado, la distancia y recorrido, el tiempo de viaje, el "momento" del mismo y los gastos de transferencia y almacenaje.

En este capítulo solamente mencionaremos dos aspectos fundamentales con respecto a los costos del transporte carretero: el punto de vista bajo el cual se realiza su determinación y, los elementos a considerar en ella.

Los costos de transporte carretero pueden ser considerados por un usuario del mismo (conductor, pasajero, productor de un bien), por una empresa prestadora del servicio (transporte colectivo, fletero) o bien por el Estado (comúnmente quien ha construido y mantenido la infraestructura vial).

La importancia de definir el punto de vista radica en que, en cada caso, se deben tomar en cuenta elementos diferentes o, aún siendo los mismos, lo que para unos es egreso, gasto para otros es ingreso, beneficio. Por ej., el peaje.

De forma genérica y de acuerdo a datos del Banco Mundial se señala que si en un camino se exceden los 50 vehículos diarios, los costos de operación serán mayores a la suma de costos de construcción y mantenimiento durante la vida útil del mismo.

En planilla anexa se describe el cálculo del costo de operación, bajo ciertas circunstancias, de un vehículo de transporte de carga donde se identifican todos y cada uno de los integrantes del costo.

Con relación a la tarifa o valor de prestación de un servicio de transporte ( $\$/\text{pas}$  ó  $\$/\text{t}$ ) está relacionada con el costo del mismo. A manera de ejemplo, para una empresa de transporte colectivo de pasajeros resulta del cociente entre los costos de un período (un mes) ponderados por el porcentaje de "ganancia" y, la cantidad más probable de elementos a transportar ( $\text{pas}$  o  $\text{t}$ ), en el mismo período.

Por último cabe expresar que las tarifas presentan una fuerte dependencia de las condiciones de mercado (monopolios, competencia perfecta, etc.) y, un marcado carácter socio-político. Este último aspecto se evidencia claramente en las tarifas de transporte colectivo de pasajeros, existiendo ejemplos en el mundo, tan diferentes como: la fijación absoluta de precios por el Estado, los subsidios en distintos grados y, la liberalización total.

## 6.8. BIBLIOGRAFÍA

- GEIPOT, "Instruções práticas para cálculo de tarifas de ônibus urbanos", Brasília, 1991.
- PIMTO FERRAZ, A.C. et al., "Erros econômicos nos métodos de cálculo tarifário", Revista dos Transportes Públicos, ANTP n155, San Pablo, 1992.
- BODMER, M., Apuntes de curso "Economía dos transportes", Programa de Ingeniería de Transportes, Universidad Federal, Río de Janeiro, 1992.
- Mercedes-Benz, "Administração do transporte de carga", Sao Bernardo do Campo, sin fecha.
- Boletín del ANTP, "Tarifa y Subsidio", año II, n13, San Pablo, ene/mar 1993.
- Planillas de cálculo de costo de operación de ómnibus y camiones. M.T.O.P. .

# CAPITULO 8

## SEGURIDAD VIAL

(Esquema de la charla del Ing. Lucas Facello)

### ¿ Por qué agentes de tránsito?

- Tránsito: circulación de vehículos y personas por calles y caminos.
- Objetivo de la Ingeniería de Tránsito = Tránsito eficiente y seguro.

### Tres pilares: educación, ingeniería y fiscalización.

- 1) Fiscalizar, controlar.  
Habilito a una persona a conducir libremente un vehículo por una calle o camino.  
Para evitar el caos y administrar mejor la vía pública el Gobierno necesita de control y fiscalización.
- 2) Gobierno. Intendencias, Dirección Nacional de Transporte, Policía (de tránsito y Caminera).
- 3) Inspector o agente de tránsito: funcionario habilitado para fiscalizar el cumplimiento de la normativa, con el fin de una circulación eficiente y segura.
- 4) Crecimiento de áreas urbanas, crecimiento del parque automotor y de sus consecuencias. Si comparamos 1985 con 1996, por cada uruguayo más (200 mil) hay casi un auto más (180 mil). La población creció un 7,1% en tanto, el parque automotor, aumentó un 59%.
- 5) En Uruguay, administración de vías públicas en áreas urbanas a cargo de las Intendencias Municipales, las rutas nacionales y el resto del país a cargo de la Dirección Nacional de Transporte.
- 6) Personal calificado, conocimientos de normas (leyes, reglamentos, decretos), técnicos de ingeniería, administrativos, médicos, etc.
- 7) Tarea ingrata, aspectos sociales y psicológicos del tránsito. Seguridad, participación activa, importancia de tarea desempeñada.
- 8) Cantidades, parque automotor, necesidad tres cada 10 mil vehículos.  
Agente de tránsito = capacitación + aptitud (compromiso)

## **Accidentes de tránsito**

Generalidades (finales década de los noventa)

500 mil personas mueren por año en el mundo. Una por minuto.

En Uruguay:

- Más de 400 muertos y 8 mil heridos, al año.
- Primera causa de muerte para los comprendidos entre 5 y 34 años.
- Cientos de millones de dólares en atención a accidentados.

### **Definición, tipos, indicadores**

Hecho negativo en el que se involucra por lo menos un vehículo en vía pública, que trae como consecuencia, daños materiales y/o humanos.

Simple, con lesionados y/o fatales.

Indicadores: Cantidad de accidentes/riesgo. P.ej.: muertos cada diez mil automóviles. En Uruguay el cociente arroja un valor aproximado a 10.

Destino, culpa, evitabilidad

Los accidentes de tránsito NO SON una casualidad.

Por el contrario son el resultado de una serie de factores (de riesgo): Causalidad.

En total son nueve clases de factores humanos, del vehículo y/o ambientales, c/u de ellos, antes, durante y/o después de la colisión.

P.ej.: Conductor de moto ebrio + calle mojada por lluvia + señal colocada muy próxima a la calle + estructura de moto frágil + casco mal abrochado + voluntario que presta un auxilio inadecuado = lesionado grave o fallecido por accidente.

Para EVITAR accidentes tenemos que reducir el riesgo y, para ello, debemos controlar todos y cada uno de los factores de riesgo.

La culpa interesa sólo después del accidente (a la Justicia, a los aseguradores). Lo importante es la PREVENCIÓN.

Un inspector de tránsito al detectar una infracción, está controlando los factores de riesgo y por tanto, disminuyendo la posibilidad de un accidente.

## **Características del inspector**

Velar por una circulación eficiente y segura.

1. Excelente presencia.
2. Ser tan breve como respetuoso.
3. Un inspector no es un agente recaudador. El sólo detecta la infracción, quien sanciona es el Estado.
4. Al detectar una infracción a una norma de tránsito, un inspector debe:
  - Adecuarse a la situación.
  - Hacer indicaciones para que el conductor detenga el vehículo en lugar seguro.
  - Saludar e identificarse: ( Buenos días ! Soy inspector de tránsito de (Y). Si es necesario pedir que apague el vehículo.
  - Solicitar la licencia de conducir. Verificar autenticidad, categoría, vencimiento, uso de lentes y/o audífonos.
  - Explicar brevemente la infracción cometida.
  - Iniciar, si corresponde, la boleta de notificación o contravención.
  - En caso de protesta, solicitar que se dirija formalmente al Ministerio o bien se comunique con el encargado de turno.
5. Predicar con el ejemplo. Ser un conductor defensivo
6. En caso de operativos de flechamiento u otros cambios circulatorios (señales fijas, semáforos, canalizaciones ) se remarcará la función preventiva.
7. En caso de accidente u otro conflicto inesperado comunicarse inmediatamente con la Base por radio.
8. El circular sin casco, sin cinturón de seguridad o en vehículos sin luces o con cubiertas gastadas, son faltas que siempre deben señalarse al conductor.
9. El Manual del Conductor del Congreso de Intendentes debe estar entre sus principales lecturas.

## **Normativa de tránsito: Reglamento Nacional de Circulación Vial**

- I- Generalidades
- II- Conductores
- III- Vehículos
- IV- Circulación peatonal
- V- Circulación vehicular
- VI a XI- Circulación con animales, Señalización, sanciones, etc.

- I- Generalidades

De las competencias

1.2, Administraciones Municipales

1.3, fiscalización cumplimiento

1.4, obligación de cumplimiento a todo usuario de vía pública

1.5, Alcance de disposiciones

Del uso de la vía pública

2.9, limitaciones uso

## II- Conductores

De las habilitaciones para conducir

3.1, licencias

3.4, Intendencias

3.6, Escuela de conductores (Ley 16 585)

3.7, Categorías (Dec. N° 261/997)

3.9, validez

De sus obligaciones

4.1, obligación de porte

4.2, física y psíquicamente aptos

4.3, respeto a señalización y a personal habilitado

4.7, cuidado y atención para evitar AT en el caso de peatones en calzada

## III- Vehículos

Del Registro Nacional de Vehículos

5.2, obligación de empadronamiento

De las dimensiones

(6.2, altura)

De las luces y reflectantes

7.16 b) y 7.17, motos y ciclomotores con luz baja encendida en todo momento.

7. b), motos con luz baja encendida en todo momento.

7.20, uso de luz baja y alta.

De los frenos

8.2 a), 12m a 40 km/h s/pavimento liso, seco y limpio.

De los aparatos acústicos

De los otros elementos

(10.20 d, cinturones de seguridad y apoyacabezas.)

## V- Circulación vehicular

### De la ubicación en la calzada

12.1, Mitad derecha

12.9, Distancia de seguridad

### De las velocidades

13.1, V prudenciales

13.3, 45 km/h

13.5, no obstruir o impedir la normal circulación

### De los adelantamientos

14.1, mitad izquierda

14.7, en intersecciones

14.9, en cruce peatonal

### De las preferencias de paso

15.2, aparezca por su derecha

15.3, PARE o CEDA EL PASO

15.4, agentes de tránsito

15.9, al peatón

### De los giros

16.1 y .2, derecha e izquierda

16.6, señales con brazos

### De los estacionamientos

18.1, Detención o E contramano

18.2, doble fila, paradas, cruce peatonal

### De los vehículos de dos ruedas

21.2, acompañantes

21.3, casco

VI a XI- Varios

### Señalización

24.1, Manual

24.3, no dañar

### Sanciones

27.2, observación, multa, retiro registro

27.21, exhibición (y retiro) de documentación. Derogado por artículo 2971 de Ley 17296

del 23/2/01.

Señalización

1- Verticales

2- Horizontales, marcas en el pavimento

3- Semáforos

**Manual Interamericano de Dispositivos para el control de tránsito en calles y carreteras**

4- Acústicas (bocina, silbato, sirena)

5- Otras: Ademanes (conductor para girar o aminorar, agente) y Folletos

Vertical

Mensaje claro, fácil lectura y comprensión por parte de usuario vía pública.

Legibilidad, uniformidad.

Ubicación, iluminación.

Reglamentarias. Circulares, fondo blanco, mensaje negro, orla y diagonal roja. PARE y CEDA EL PASO.

Advertencia o peligro. Rombo, fondo amarillo, mensaje negro.

Guía e información. Rectangulares, fondo verde o azul, mensaje blanco. Nomenclatura.

Especiales (obra, evento).

Horizontal, marcas en el pavimento

Complemento de vertical. Mensaje claro pues el conductor no debe desviar la vista de pavimento.

Líneas longitudinales (eje continuo, a trazos, de borde)  
Líneas transversales, línea de detención, cruces peatonales, cebras.  
Flechas.  
Mensajes. Ómnibus, PARE.

Especiales: tachas, lomos de burro.

Mantenimiento.

Semáforos

Procesamiento alternado de flujos. Tres colores alternados, verde, amarillo y rojo.  
Fácil lectura, funcionamiento acorde a los flujos (apagado, destellante, programado).  
Tiempo fijo, programables, peatonales.

Requisitos para la instalación, estudios de flujos, accidentes