

El Transporte Ferroviario: Fundamentos y algunas características más sobresalientes

Dra. Aranzazu de Caballero¹, Dr. Rony Caballero George¹, Dr. Humberto Álvarez¹, Dr. José Javier Laguardia Cupertino, Dra. Delva Batista Mendieta¹, Dr. Darío Solís¹, Dr. Juan de Dios Sanz Bobi², Dr. Ramón Galán López², Ing. Juan Andrés Brunel Vásquez², Est. Krisly Guerra Guerra¹, Est. Joel Flores Pino¹.

Universidad Tecnológica de Panamá¹ Universidad Politécnica de Madrid²

Resumen— El presente artículo de divulgación tecnológica/científica tiene como propósito presentar, brevemente, algunos fundamentos y características más sobresalientes del transporte ferroviario. Adicionalmente, se presenta un resumen de los aspectos del proyecto de investigación "Metodologías e índices de desempeño para sistemas de transporte ferroviarios" financiado por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación del Gobierno de la República de Panamá.

Palabras clave: metro, monorraíl, transporte ferroviario, tren, tren de cercanías, tren ligero.

1. Introducción - Situación Actual

La estructura de la ciudad de Panamá corresponde, actualmente, a un área metropolitana madura [1], ya que responde a un esquema policéntrico, con un núcleo central de gran atracción de viajes (Casco antiguo, Área Bancaria) y una órbita de macrozonas dormitorios (Panamá Oeste, Este y Norte) de alta densidad con una súper especialización de los usos de suelos. Atendiendo a esto, su movilidad urbana podría caracterizarse de la siguiente manera:

- Fuerte radialidad de los desplazamientos. Esta situación se agrava en el área metropolitana de Panamá porque los desplazamientos diarios tienen un componente de desplazamiento longitudinal de dirección (Este-Centro), que se suma a los desplazamientos (Norte-Centrosur) y los desplazamientos provenientes del área de Panamá Oeste hacia centro de la Ciudad.
- Concentración de orígenes destinos. La concentración de los viajes se encuentra vinculada a las macrozonas receptoras de viajes (Casco Antiguo, Centro Bancario) y las macrozonas conformadas por San Miguelito, Tocumen y Panamá Oeste, todas ellas generadoras de viajes.
- Concentración temporal de los desplazamientos. En el caso de la ciudad de Panamá, dicha concentración temporal se encuentra en función de las horas picos matutinas (6:00 a.m. a 8:00 a.m.) y las horas pico vespertinas (6:00 p.m. a 8:00 p.m.).
- Una elevada, pero decreciente participación de los modos de transporte público.

En el Área Metropolitana, la mayoría de los viajes (50.3%) se realizan en transporte público.

Según el estudio del Banco Mundial [6] se realizan 1,715,122 viajes diarios distribuidos en varios modos de transporte, donde el 50.3% corresponde a 874,164 viajes diarios en modo autobús.

- Una baja movilidad relativa personal [2]. En este sentido, al comparar la ciudad de Panamá con otras ciudades latinoamericanas, se observa que su promedio de la cantidad de viajes (1.34) es menor que el que tienen ciudades como Santiago de Chile (1.73), Lima (2,1) o Sao Paulo (1.88).

Adicionalmente, resulta importante destacar que la encuesta ENVI (Encuestas Nacionales de Niveles de Vida) muestra que la mayoría de los viajes realizados en el área metropolitana de la ciudad de Panamá están orientados al trabajo (35.4%) y los estudios (39.3%), más no a razones privadas (25.3%), a diferencia de otras capitales latinoamericanas y, de ese 25.3% un alto porcentaje del 9% corresponde a motivos de viajes por compras. En consecuencia, se evidencia que la mayoría de la población de la ciudad de Panamá sólo realiza viajes obligados debido al bajo nivel de movilidad [2].

Tabla 1. Distribución de motivos de viajes [2].

MOTIVO DE VIAJE	PANAMÁ	SANTIAGO DE CHILE	LIMA
	AÑO 2006	AÑO 2002	AÑO 2004
Trabajo	35.4%	23.3%	30.5%
Estudios	39.3%	18.0%	26.2%
Razones Privadas	25.3%	55.7%	37.5%

De acuerdo al estudio de Movilidad Urbana del Banco Mundial [2], los altos tiempos promedios de viaje en el Área Metropolitana de Panamá (AMP) reflejan la problemática de la reducida funcionalidad de la ciudad. Los tiempos promedio de viaje dentro de diferentes puntos, de la AMP son de 57 minutos a 66,5 minutos en transporte público y, 50,6 minutos en automóvil particular. El estudio ESTPUM del año 2000, por otro lado [3], arrojó los siguientes datos:

- El tiempo promedio de recorrido en el autobús es de 44 minutos para la muestra entrevistada.
- El tiempo total promedio del desplazamiento desde su punto de origen a su punto de destino de la muestra entrevistada es de 76 minutos.
- La percepción del tiempo de recorrido, por parte de los usuarios, arrojó que dos tercios de la muestra obtenida mediante la aplicación de una Encuesta de Preferencias Declaradas (EPD), consideraban que el tiempo de recorrido era muy lento o lento. Allí se evidenciaba una visión negativa de las condiciones de desplazamiento en la ciudad de Panamá por parte del usuario del transporte público colectivo, quien ya no estaba satisfecho con sus tiempos de recorrido.

En ambos estudios se muestra que existe una problemática en el sistema de transporte de la Ciudad de Panamá. Se percibe que los tiempos dedicados a movilizarse entre puntos del AMP son relativamente largos pese al tamaño de la Ciudad.

El problema de transporte descrito anteriormente, exige estudiar las diversas alternativas de sistemas de transporte público disponibles actualmente, para determinar cuál de ellas contribuye a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, y como resultado de esto, la economía nacional.

En los siguientes puntos, se abordan temas como las clasificaciones de los sistemas de transportes y se detallan sus principales características en forma de esquemas y tablas, las cuales permiten la comparación entre tecnologías.

Tabla 2. Clasificación del sistema de transporte según la capacidad del sistema [5].

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS	EJEMPLOS
Baja capacidad	<ul style="list-style-type: none"> Operan en el viario público, a baja velocidad y con múltiples interferencias, debidas al tráfico y múltiples paradas. 	Autobús, trolebús y tranvía
Semi-rápido o de capacidad intermedia	<ul style="list-style-type: none"> Comparten parcialmente el viario con el resto de tráficos. 	Autobuses con plataforma reservada y metro ligero
Rápido o masivo	<ul style="list-style-type: none"> Su infraestructura está totalmente reservada y tienen una alta capacidad, velocidad, regularidad y seguridad. 	Metro y ferrocarril de cercanías

superiores al vehículo privado y empieza a ser atractivo con respecto a éste. La infraestructura totalmente segregada, Categoría A, permite ofrecer una excelente calidad de servicio ya que el operado puede organizar de forma independiente su programa de operación y no sufre la incidencias con otros modos de transporte.

Tabla 3. Clasificación del sistema de transporte según el volumen de viajeros [5].

CLASIFICACIÓN	VOLUMEN DE TRANSPORTE (PASAJEROS EN HORA PUNTA Y SENTIDO)
Baja Demanda	Menor de 6,000
Demanda Media	6,000 a 20,000
Alta Demanda	Mayor de 20,000

Tabla 4. Clasificación del sistema de transporte según grado de exclusividad de la infraestructura ferroviaria [5].

CATEGORÍA	VELOCIDAD DEL TRANSPORTE PÚBLICO	VIAJEROS/HORA/SENTIDO	CARACTERÍSTICAS	EJEMPLOS
A (Infraestructura totalmente segregada)	Mayor a 50 km/h	Mayor de 20,000	<ul style="list-style-type: none"> El transporte público circula por una plataforma independiente, sin cruces a nivel de vehículos y personas. Costo más elevado 	Metro convencional, ferrocarril suburbano, people – movers
B (Infraestructura parcialmente segregada)	Mayor a 20 km/h	Menor de 20,000	<ul style="list-style-type: none"> El transporte público circula por una plataforma separada del resto del tráfico pero con cruces a nivel de vehículos y peatones, incluyendo intersecciones. 	Metro ligero, autobús en sitio propio
C (Infraestructura no segregada)	Menor a 15 km/h	No superior a 6,000	<ul style="list-style-type: none"> El transporte público comparte la infraestructura con el resto del tráfico viario. 	Transporte de superficie, autobús y tranvía

Cuando el transporte público comparte la infraestructura vial con el tráfico general, (Categoría C), la calidad de la oferta de transporte ofrecida en hora punta es muy baja, sobrepasando la velocidad rara vez de los 15 Km/h en medios urbanos. Con una infraestructura parcialmente segregada, categoría B, el transporte público ya puede alcanzar velocidades un poco

2. Clasificación de los Sistemas de Transporte

Entre los parámetros para clasificar los sistemas de transporte en el ámbito urbano y metropolitano, tenemos el tipo de oferta propuesto. En base a este criterio, se presentan tres de las posibles clasificaciones establecidas por Vukan Vuchic [4]: según el volumen de viajeros, según la capacidad del sistema y según el grado de exclusividad de la infraestructura; todas éstas aparecen resumidas en las Tablas 2, 3 y 4, respectivamente.

3. Esquemas Generales de Relación de Capacidades y Velocidades Comerciales Ferroviarias

Las características típicas del transporte público en el área metropolitana, así como el volumen de pasajeros, hacen viable el uso del tren metropolitano en la Ciudad de Panamá. A continuación se presentan las figuras 1 y 2 que muestran las relaciones de velocidades comerciales y capacidades de transporte, en base a la distancia inter-estación. Estas permiten comparar el desempeño de diversos modos de transporte masivo [1], [4], [5], [6], [7] y [8] en donde se vislumbran dos claras fronteras en los límites inferior y superior: el autobús y el tren de cercanías. Entre ellos, también aparecen otros sistemas de transporte terrestre ferroviario, los cuales comparten algunos rangos de valores de sus parámetros de desempeño con sus correspondientes vecinos.

En la Figura 1, se puede observar el caso del metro pesado convencional.

Este sistema de transporte presenta velocidades comerciales entre 25 km/h y 40 km/h, en una distancia inter-estación de 500 m a 2,000 m. En la figura 2, para este mismo sistema, la capacidad de pasajeros/hora/sentido está entre 20,000 a 80,000, considerando la misma distancia entre estaciones.

En el caso de la ciudad capital, ésta presenta altos niveles de congestión vehicular a lo largo de los corredores principales tanto longitudinales como transversales, debido a que las velocidades vehiculares medias en la hora pico de la mañana son de 18 km/h y, en hora pico de la tarde, de 16 km/h [2]. Esto evidencia que el AMP de la Ciudad de Panamá impera prácticamente un sistema de transporte categoría C de muy baja calidad. Para lograr el nivel de desempeño de un sistema de transporte categoría A, se requiere el uso de tecnologías de transporte ferroviario ya que las mismas no solamente permiten el transporte masivo de pasajeros, sino también a altas velocidades y en infraestructura dedicada.

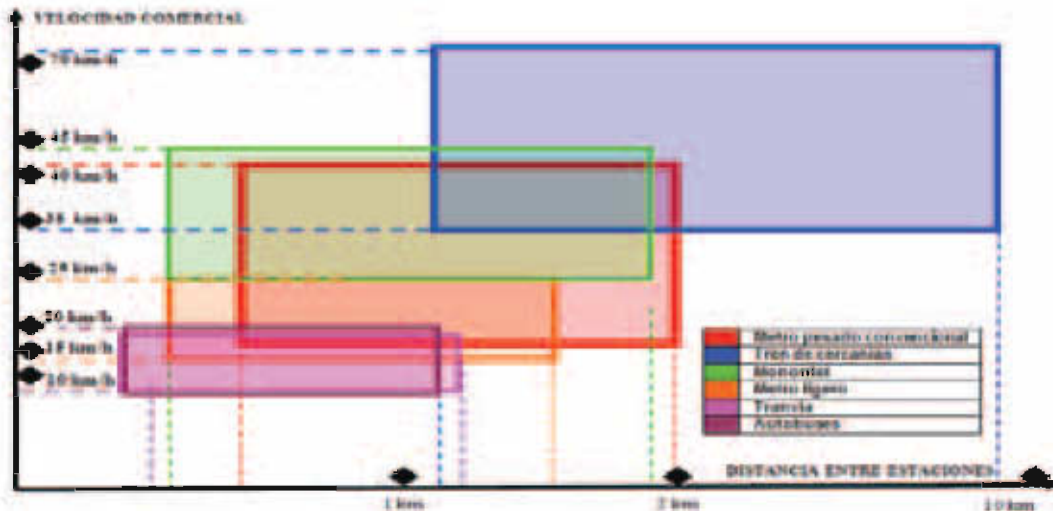


Figura 1. Esquema general de velocidades en los modos de transporte ferroviario. Elaboración conjunta. UTP – CITEF

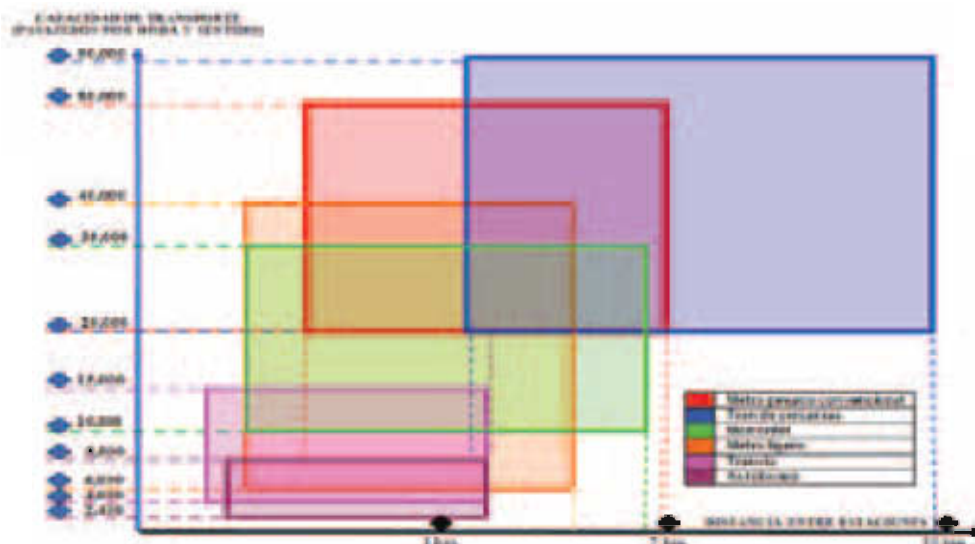


Figura 2. Esquema general de capacidades en los modos de transporte ferroviario. Elaboración conjunta. UTP – CITEF

4. Aspectos Ferroviarios

En la Tabla 5 se presenta una comparación entre tecnologías de transporte ferroviarias y vehiculares. Cabe señalar que los valores presentados en dicha tabla son sólo de carácter orientativo.

Existen diversas tecnologías, cada una con diferentes alcances en términos de capacidad, velocidad, modo de operación, entre otros. Las especificaciones de sendas tecnologías permitirán determinar cuál de éstas es la más adecuada para satisfacer los requerimientos del sistema de transporte de una ciudad.

Como se puede observar en la Tabla 5, el metro convencional y el tren de cercanías ofrecen las mejores prestaciones, en cuanto a

capacidad por sentido (pasajeros), regularidad, velocidades comerciales, entre otros factores. La principal diferencia entre estas tecnologías, aparte de las mostradas en la tabla, consiste en la zona de utilización del sistema, ya sea en el centro urbano o su periferia.

La selección de uno de estos dos sistemas de transporte para la ciudad dependerá, principalmente, de la densidad de tráfico (sucesión de trenes) y la cantidad de paradas (densidad de población); por eso donde la línea tiene más paradas la velocidad es baja y donde hay menos paradas, más alta.

Tabla 5. Comparación entre tecnologías de transporte ferroviarias y vehiculares. Elaboración conjunta. UTP – CITEF

CARACTERÍSTICAS	AUTOBÚS URBANO CONVENCIONAL	TRANVÍA CLÁSICO	MONORRAÍL JAPONÉS	METRO LIGERO TRANVÍA MODERNO	METRO PESADO O CONVENCIONAL	TREN DE CERCANÍAS
Capacidad por sentido (pasajeros)	2,400 – 8,000	4,000-15,000	10,000-35,000	6,000 – 40,000	20,000-80,000	Mayor a 20,000 90,000 (cap max.60")
Composición mínima de la unidad (carros o vagones)	1	1 – 2	1	2 – 3	2 – 10	2 – 10
Capacidad por composición (pasajeros)	40 – 120	100 – 300	724	100 – 400	400 – 1,200	750 – 2,000
Frecuencia mínima (s)	137	----	150	180	90	90
Distancia Inter-estación (m)	250 – 1,200	250 – 1,200	730 – 2,000	350 – 1,500	500 – 2,000	2,000 – 10,000
Regularidad	Baja – Media	Baja	Media Alta	Alta	Muy alta	Muy alta
Velocidad máxima (km/h)	40 – 80	50 – 70	80	60 – 90	70 – 110	70 – 140
Velocidad comercial (km/h)	10 – 20	10 – 20	25 – 45	15 – 25	25 – 40	35 – 70
Plazas totales por carro o vagón	40 – 120	100 – 180	342	110 – 250	140 – 280	150 – 250
Asiento por carro o vagón	30 – 80	22 – 40	124	25 – 80	32 – 84	40 – 120
Longitud de cada unidad (m)	8 – 12	16 – 30	15	25 – 45	32 – 150	26 – 250
Toma de corriente	Ninguna	Aérea Catenaria	Vigas de guía	Aérea catenaria	Aérea/tercer carril	Aérea/tercer carril
Accesibilidad	Parada con desnivel, excepcionalmente en subterráneo	Paradas en la acera a nivel	Estaciones elevadas, a nivel	Parada a nivel, excepcionalmente en subterráneo	Estación en subterráneo salvo particularidades	Estación a nivel o en subterráneo
Pago de peaje	Dentro del vehículo	Dentro del vehículo	En la estación	Dentro del vehículo o la estación	En la estación	Dentro del vehículo o la estación
Control del vehículo	Manual/visual	Manual/visual/ señales	Manual ATO/ATC	Manual/señales ATC	Señales ATC, sistemas integrales CBTC	Protección convencional/ATP-ATO/ERTMS
Grado de segregación de la infraestructura vial	0	0 – 40%	100%	40% – 90%	100%	100% Ocasionalmente con pasos a nivel
Integración urbanística	Inmediata	Mediana	Mediana	Fácil	Independiente, ya que es subterráneo	Fácil

5. Descripción General del Proyecto de Investigación

Actualmente, la Universidad Tecnológica de Panamá, desarrolla el proyecto I+D titulado "Metodologías e Índices de Desempeño para Sistemas de Transporte Ferroviarios", financiado por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT), del Gobierno de la República de Panamá.

Este proyecto de investigación se desarrolla con la sinergia de la Universidad Tecnológica de Panamá y la Universidad Politécnica de

Madrid, como colaborador internacional, a través de diferentes unidades, siendo éstas:

- Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Panamá.
- Laboratorio de Transporte de la Vicerrectoría de Investigación, postgrado y/o extensión de la Universidad Tecnológica de Panamá.
- El Departamento de Automática, Ingeniería Electrónica e Informática Industrial de la Escuela Técnica Superior de

Ingenieros Industriales en la Universidad Politécnica de Madrid (DISAM). Este centro europeo cuenta con una experiencia de más de 30 años en áreas como: control de procesos, visión por computador, robótica, simulación, etc., a través de las actividades docentes, tecnológicas, de investigación.

- El Centro de Investigaciones de Tecnologías Ferroviarias de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales en la Universidad Politécnica de Madrid (CITEF). A modo de presentación, este centro europeo tiene como fines la investigación, innovación, experimentación, estudio y docencia dentro del área tecnológica de transporte ferroviario, siendo este sistema de redes de metro, tren ligero, trenes de cercanías, tranvía moderno, alta velocidad, mercancías, etc.

Este proyecto de investigación consta de tres etapas fundamentales, las cuales son:

Etapas I: Recopilación de datos y estudios y adquisición de equipos y software ferroviarios.

Etapas II: Modelado de las propuestas presentadas en los estudios analizados.

Etapas III: Determinación de las topologías más favorables y/o configuraciones ferroviarias.

El primer informe de avance arrojó las siguientes conclusiones preliminares:

- De acuerdo a la revisión documental de una serie de estudios de transporte realizados en la ciudad de Panamá, la línea 1 del metro de Panamá propuesta, presenta el potencial de conectar la macrozona de San Miguelito, la de mayor generación de viajes, con las macrozonas comprendidas por Casco Antiguo y Centro Bancario, de mayor atracción de estos, con lo cual se asegura que la ruta escogida tenga una demanda considerable en las horas pico. Es importante destacar que durante la hora valle, la tasa de demanda de pasajeros puede caer hasta en un 25% de la demanda pico. Es importante elegir una solución, en términos de tecnologías ferroviarias, que sea flexible y que permita retirar trenes y vagones fácilmente, de acuerdo al estado del régimen permanente de operación.

6. Conclusión

El transporte ferroviario es un componente fundamental de las grandes capitales del mundo. Aquí queda claro que la Ciudad de Panamá requiere, desde hace varios lustros, una alternativa de transporte urbano ferroviario que dinamice la economía nacional. Para altos niveles de demanda de pasajeros, el metro y el ferrocarril de cercanías siguen siendo las opciones más adecuadas.

En principio, lo ideal es elegir un sistema para el que existan diferentes suplidores, tanto para su fabricación como para el posterior mantenimiento, que pudiera ser realizado por una gama de fabricantes distintos del suplidor original.

Agradecimientos

En la Universidad Tecnológica de Panamá, deseamos agradecer al Dr. Dario Solís, a la Ing. Arelis Barahona, al Ing. Celso Spencer, a la Dra. Eliane Boulet de Cabrera y, al Prof. Garrido. A la Fundación Tecnológica de Panamá, por ser la entidad gestora de los fondos de este proyecto de investigación.

En Madrid, España, al Dr. Ramón Galán López y al Dr. Juan de Dios

Sanz- Bobi. A la Secretaría del Metro de Panamá, en especial al Ing. Roberto Roy, a la Licda. Ana Laura Morais y al Licdo. Roberto Vargas, por todo el apoyo que nos han brindado durante la ejecución de este proyecto. A la Cámara de Comercio, Industria y Agricultura de Panamá, al Ministerio de Obras Públicas y la Autoridad de Transporte y Tránsito Terrestre, por habernos facilitado varios de los estudios realizados hasta la fecha relativos al proyecto.

Referencias

- [1] M. Aymerich, J. Colomer, A. Ibeas, R. Izquierdo, J.M. Menéndez, A.Monzón, F. Robusté, M. Turro. A. Zaragoza. Transportes. Un enfoque integral. Tomo I. Transporte y Economía del Transporte. 2001. ISBN 84-380-0196-3
- [2] Banco Mundial. La movilidad urbana en el Área Metropolitana de Panamá. Elementos para una política integral del Departamento de Desarrollo Sostenible de la Región de Latinoamérica y el Caribe del Banco Mundial. 2007.
- [3] BCEOM. ESTPUM: Estudio de factibilidad de un sistema de transporte masivo en el área metropolitana de la ciudad de Panamá. 2000.
- [4] Vuchic, Vurkan R. Urban Public Transportation.1981.
- [5] C. Zamorano, J.M. Bigas, Julián Sastre. Manual de Tranvías, metros ligeros y sistemas en plataforma reservada. 2006. Diseño, Proyecto, financiación e implantación. ISBN 84-86803-61-6.
- [6] M. Melis, F. González. Ferrocarriles metropolitanos. Tranvías, metros ligeros y metros convencionales. ISBN 84-380-0287-0. 2002.
- [7] JICA. Pre feasibility study on the development of mass transit system in Panama City. Final report . March 2008 Ministry of economy trade and industry . 2008.
- [8] Jetro. Seminario taller sobre el "Monorriel y Transporte Urbano Masivo." Jetro seminar Octubre2009. Organización de Comercio Exterior de Japón, Panamá, República de Panamá. Octubre 2009.Panama
- [9] A. Berbey. Planificación en tiempo real de tráfico ferroviario. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid. 2008.

Anexos

Conceptos Básicos

- **Macrozonas:** Conjunto de zonas en que se divide un área durante el estudio de localización de un proyecto, tomando en cuenta distintos factores, entre los que se encuentran los técnicos, legales, impositivos, económicos y sociales.
- **Metro:** Sistema ferroviario convencional con características propias de un servicio urbano: pequeña distancia entre estaciones, pequeños radios de curvatura y pendientes importantes.
- **Monorriel:** Sistema en el que el tren se desliza sobre una única viga que descansa sobre postes.
- **Tren:** Serie de vehículos acoplados unos con otros que, remolcados por uno o varios vehículos motores (locomotora, automotor, etc.), conducen viajeros o mercancías de un punto a otro, por una vía férrea circulando de acuerdo con una marcha o en régimen especial.
- **Tren de cercanía:** Ferrocarril de corto o medio alcance que transporta gran cantidad de pasajeros diariamente, entre el centro urbano y las áreas periféricas urbanas.
- **Tren ligero:** Sistema de transporte ferroviario de pasajeros de capacidad media a escala regional y metropolitana con unidades tipo tranvía o una clase intermedia entre un tranvía y un tren, permitiendo la conexión entre núcleos urbanos y zonas rurales y creando además nuevos potenciales de desarrollo urbano.
- **Velocidad comercial:** Velocidad media que desarrolla un tren entre origen y destino, teniendo en cuenta tanto paradas comerciales como técnicas.