



Informe técnico de la Etapa I del proyecto de I+D “Metodologías e índices de desempeño para sistemas de transporte ferroviario” 2009-2010.

Dra. Aránzazu Berbey Alvarez
(aranzazu.berbey@utp.ac.pa)

Dr. Rony Caballero
(Rony.caballero@utp.ac.pa)

Co-investigadores:

Dr. Humberto Alvarez (FII-UTP)
Dr. Juan de Dios Sanz bobi (Universidad Politécnica de Madrid)
Dr. José Laguardia (FCYT-UTP)
Dr. Ramón Galán López (Universidad Politécnica de Madrid)

Estudiantes- Facultad de ingeniería eléctrica
Krisly Guerra Guerra (FIE-UTP)
Joel Flores Pino (FIE-UTP)



Esta obra está licenciada bajo la Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver esta licencia:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>

Fuente del documento UTP-Ridda2:

<http://ridda2.utp.ac.pa/handle/123456789/13350>

Agradecimientos

Deseamos agradecer primeramente a la cooperación internacional de este proyecto al Dr. Ramón Galán López(q.e.p.d.) y al Dr. Juan de Dios Sanz- Bobi por haber invitado a la investigadora principal a una estancia corta en el Centro de Investigaciones en Tecnologías Ferroviarias (CITEF) y por los entrenamientos recibos a los investigadores principales del proyecto en cuanto simulaciones mecánica y eléctricas en el Centro de Investigación en Tecnologías Ferroviarias (CITEF) de la Universidad Politécnica de Madrid durante el mes de diciembre del año 2010.

Título del proyecto:**“Metodología e índices de desempeño para sistemas de transporte ferroviario”****MDEPRB09-001**

Palabras claves: Tecnologías ferroviarias, metro, tren ligero, monorraíl, tren de cercanías, sistema de transporte ferroviario urbano.

Resumen

En este informe se presentan los resultados de la segunda etapa del proyecto titulado Metodología e índices de desempeño para sistemas de transporte ferroviario. Esta propuesta se enmarca en el área de la planificación y la gestión de sistemas de transporte ferroviario. Berbey- Alvarez *et al.*, [1] propone diseñar una nueva metodología que permita modelar y evaluar cualquier propuesta de transporte ferroviario en la República de Panamá con el objeto de determinar las fortalezas reales y debilidades desde un punto de vista operativo en cada una de ellas utilizando técnicas procedentes de los campos de la planificación y control automático basándose en los modelos de variables de estado Cury *et al.* [2], Sasama y Ohkawa [3] Araya *et al.*, [4], [Campion *et al.*, [5] y Van Breusegem *et al.*, [6]. Igualmente, se espera aplicar una serie de índices primarios reconocidos mundialmente para la gestión de las líneas ferroviarias [7][8][9]. También se tomarán en cuenta reglas o restricciones generales para este tipo de problema de planificación como: reglas de tráfico, requisitos del usuario e infraestructura topológica (configuración) ferroviaria y el tipo de trenes [10][11][12]. Se identificarán las variables más relevantes en el tráfico ferroviario y se propone estudiar su comportamiento estadístico.

Abstract

This report presents results about the project: Methodology and performance indexes for railway transport systems. This proposal is in the field of planning and management of railway system. In this work is proposed a new approach for modeling and evaluating any railway transport project in Panama. In order to determine strength and weakness from operative point of view, some techniques from transport planning, automatic control and statistics science will be applied.

Antecedentes

Los antecedentes de esta propuesta comienzan con los estudios técnicos ferroviarios[13] en [14], Okutsu [15] iniciativas regionales vinculantes: Proyecto Mesoamerica[16][Banco Mundial[14] y algunos proyectos nacionales de investigación en materia de transporte, por ejemplo, Solís *et al.*, [17] entre otros.

Uno de estos estudios corresponde al realizado por personal técnico del gobierno de Japón (Okutsu, 2008) titulado “Panama City Mass Transit Project”. Aquí se propone la instalación de una línea de tren elevado de 23 kilómetros de largo desde el Aeropuerto Internacional de Tocumen hasta la Plaza Cinco de Mayo. Este tren tendría capacidad para (800 personas cuatro vagones por tren. Este estudio adelanta algunas variables críticas ferroviarias como el número de estaciones (16), que se proponen conectar con los buses articulados y otras rutas de transporte. Otra variable sugerida es que la flota ferroviaria la compongan 20 trenes (80 vagones) solo para la ciudad del Panamá y que el servicio de transporte se preste en intervalos de 3.5 minutos entre trenes en las horas pico (para poder trasladar a 30,000 personas por hora), siendo esta la frecuencia de compromiso en la prestación del servicio de cara al usuario. Las unidades tendrían una estación de mantenimiento y logística cerca del aeropuerto de Tocumen.

Otro estudio vinculante, es proyecto ESTPUM [13] realizado por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) bajo el título “*Estudio de factibilidad de un sistema de transporte masivo en el área metropolitana de la Ciudad de Panamá*” Aquí se propone la creación de un tren ligero. Esta consistiría en dos ramales, identificados como la “Línea azul” y “Línea roja”. La primera de ellas abarca la ruta desde la Plaza 5 de Mayo hasta la entrada al Valle de San Isidro, y la segunda también parte de la Plaza 5 de Mayo y llega hasta Pedregal. Según este estudio estas líneas se cruzarían en Vista Hermosa, cerca de la intersección de la Vía Fernández de Córdoba con Vía España, con el propósito de otorgar la flexibilidad necesaria. El proyecto de tren ligero está orientado a satisfacer la demanda de movilización masiva a corto plazo, principalmente en largas distancias, por lo que siempre estará complementado con los servicios tradicionales de transporte público desde y hacia los distintos polos de intercambio y estaciones, que estarán localizados a lo largo del recorrido de sus diferentes líneas[18].

En 2002, el grupo BCEOM efectuó otro estudio de factibilidad para colocar dos líneas de trenes ligeros, combinando una ruta de bus articulado desde la Cervecería Nacional hasta Tocumen.

Es importante destacar que existe una iniciativa regional vinculante que consiste en la creación de un ferrocarril regional. Esto se recoge en la publicación del diario La Prensa con fecha del 8 de noviembre del año pasado (2008). El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) financiará un estudio para impulsar la creación de un ferrocarril regional con el objetivo de dinamizar y facilitar el transporte de la industria mesoamericana[19][20].

También se prevén la realización de acciones más pequeñas con respecto a construcciones ferroviaria debido a la firma de un acuerdo de colaboración o memorando de entendimiento entre STRI y la Compañía Ferroviaria del Canal de Panamá (Panama Canal Railway Company) para la construcción de un cruce ferroviario e instalación de señales para el muelle de STRI al norte de Gamboa.

Contenido (Productos)	Página
1-Introducción	5
2-Modelado de distribución zonal en el área metropolitana de la ciudad de Panamá	6
2.1 Marco teórico	7
2.1.1 Métodos basados en tasa de crecimiento	8
2.1.2 Métodos sintéticos	9
2.1.3 Estimación de las matrices de viaje mediante encuestas	9
2.2 Modelos de generación y atracción de viajes en la ciudad de Panamá	11
2.2.1 Modelo de zonas y macrozonas de la ciudad de Panamá	18
2.2.2 Análisis de macrozonas y proyecciones de crecimiento futuras	19
3 Síntesis de estudios ferroviarios en la República de Panamá. Propuestas para la implantación de un sistema ferroviario para el transporte masivo de pasajeros en la ciudad de Panamá (Producto 1)	25
3.1 El sistema de transporte público existente	25
3.2 Posible trazado de rutas ferroviarias para transporte masivo de pasajeros	30
3.2.1 Trazado avenida Simón Bolívar-Transístmica	31
3.2.2 Trazado vía España-José Agustín Arango	31
3.2.3 Trazado combinado vía Transístmica-vía España	32
3.3 Trazado de las Líneas 1, 2 y 3 de metro	32
3.4 Síntesis de los aspectos críticos de los sistemas ferroviarios estudiados. Análisis de las tecnologías ferroviarias propuestas (Producto 2)	37
3.4.1 Tren ligero / tranvía moderno	39
3.4.2 Monorriel	43
3.4.3 Metro	48
3.4.4 Tren de cercanías	57
4. Conclusiones	59
5. Bibliografía	60

1-Introducción

La problemática de movilidad urbana en la Ciudad de Panamá se remonta a los inicios de nuestra República, esto queda expuesto a través de los escritos de Arquitecto panameño Ricardo J. Bermúdez[21], el cual manifestó:

“Al hacer el relato histórico del rápido crecimiento de la región metropolitana en los últimos 30 años, no destacamos, exprofeso, el hecho de que su misma veloz urbanización haya traído consigo su desurbanización y descentralización. El encarecimiento del costo de la tierra, las insalubres condiciones sanitarias, el congestionamiento del tránsito, la falta de espacios verdes, el ruido y humo, constituyen fuerzas disolventes en la vida de toda ciudad”[22].

Este parece ser un texto sacado de un periódico de nuestros días, pero corresponde al texto de una conferencia, leída en el Paraninfo de la Universidad Nacional de Panamá, la noche de 25 de octubre de 1948. Incluso en el mismo texto se hace referencia a la situación vehicular del año 1939, y se evidencia la congestión de tránsito de aquel momento, a pesar, de que número total de vehículos a motor en este año (1939) correspondía a 12 mil 344 unidades[22].

Un estudio más actual ha sido elaborado por el Banco Mundial [14] en conjunto con la Autoridad de Tránsito y Transporte Terrestre y el Ministerio de Economía y Finanzas de la República de Panamá, donde se utilizó una Encuesta Socio-Económica de Transportes.

En este informe se presenta una recopilación de los antecedentes y estudios relevantes a la implantación de un sistema de transporte ferroviario en la ciudad de Panamá, para más adelante realizar un análisis crítico de los mismos.

Este trabajo está organizado en cuatro capítulos. El primer capítulo corresponde a la introducción. El segundo presenta un marco teórico de las técnicas de distribución zonal, para luego presentar y analizar el modelo de distribución de pasajeros en las distintas zonas de la ciudad de Panamá. El tercero analiza las distintas tecnologías ferroviarias disponibles para solucionar el problema de transporte en la ciudad Panamá. Finalmente, el último capítulo presenta las conclusiones más relevantes del mismo.

2-Modelado de distribución zonal en el área metropolitana de la ciudad de Panamá

2.1 Marco teórico

En estos últimos años se han propuesto múltiples métodos para simular la distribución de viajes entre varios destinos. Aquí podemos destacar dos grupos principales: los métodos basados en tasa de crecimiento y los métodos sintéticos. Los primeros, son muy simples y solo son aplicables a corto plazo y los segundos son más complejos y son aptos para estudios estratégicos a mediano y más largo plazo.

Los métodos de distribución zonal se basan en una matriz bidimensional en cuyas celdas T_{ij} , se representa el número de viajes entre las zonas de generación de viajes i y las zonas de atracción de viajes j . En consecuencia, la diagonal principal representa los viajes intrazonales, B_i representa el número de viajes generados en la zona i , mientras que B_j representa el número de viajes atraídos por la zona j . Además, debe cumplirse con:

$$\sum_{j=1}^n A_j = \sum_{i=1}^n B_i$$

		Atracción (Destino)								$\sum_{j=1}^n T_{ij}$
		1	2	3	4		j		n	
Generación (Origen)	1	T_{11}	T_{12}	T_{13}	T_{14}		T_{1j}		T_{1n}	B_1
	2	T_{21}	T_{22}	T_{23}	T_{24}	...	T_{2j}	...	T_{2n}	B_2
	3	T_{31}	T_{32}	T_{33}	T_{34}		T_{3j}		T_{3n}	B_3
	4	T_{41}	T_{42}	T_{43}	T_{44}		T_{4j}		T_{4n}	B_4
			\vdots			\ddots			\vdots	
	i	T_{i1}	T_{i2}	T_{i3}	T_{i4}		T_{ij}		T_{in}	B_i
			\vdots					\ddots	\vdots	
	n	T_{n1}	T_{n2}	T_{n3}	T_{n4}	...	T_{nj}	...	T_{nn}	B_n
	$\sum_{i=1}^n T_{ij}$	A_1	A_2	A_3	A_4		A_j		A_n	

Figura 2.1 Matriz de viajes

2.1.1 Métodos basados en tasa de crecimiento

Estos métodos se basan en el conocimiento de una matriz inicial de viajes t_{ij} , y las proyecciones de crecimiento de las distintas zonas involucradas. De esta manera la matriz de viaje puede modelarse de la siguiente manera:

Método	
Crecimiento uniforme	$T_{ij} = \tau t_{ij}$
Crecimiento simplemente acotado relativo al origen	$T_{ij} = \tau_i t_{ij}$
Crecimiento simplemente acotado relativo al destino	$T_{ij} = \gamma_j t_{ij}$
Crecimiento doblemente acotado	$T_{ij} = \tau_i \gamma_j \beta_i \alpha_j t_{ij}$

Cuadro 2.1 Métodos de crecimiento uniforme

El método de crecimiento uniforme se basa en el supuesto de que los viajes entre zonas crecen uniformemente por un factor τ . Por otro lado, el método de crecimiento simplemente acotado ya sea origen o destino, aplica un factor de crecimiento τ_i a cada fila i de la matriz para considerar el crecimiento de los viajes generados en la zona i , o un factor de crecimiento γ_j a cada columna j de la matriz para considerar el crecimiento de los viajes atraídos a la zona j . Un enfoque más apropiado lo constituye el método de crecimiento doblemente acotado, donde se puede considerar simultáneamente factores de crecimiento en la generación y atracción de viajes. Aquí, se hace necesario la utilización de factores de balanceo β_i y α_j que pueden obtenerse iterativamente con el método de Furness.

Estas técnicas basadas en tasas de crecimiento tienen la ventaja, que modifican muy poco la matriz de viajes inicial. Además, permite actualizarla fácilmente en la medida en que se pueda estimar correctamente el crecimiento de la población y la oferta de atracción de viajes (por ejemplo, el aumento de la oferta de empleo) en las zonas de interés. Sin embargo, es evidente que la aplicación de estos métodos a mediano y largo plazo es muy limitada, ya que usualmente, tanto las estimaciones de crecimiento como las preferencias de los viajeros, solo son confiables a corto plazo.

2.1.2 Métodos sintéticos

Estos métodos, también llamados gravitacionales, tratan de modelar el comportamiento de los viajeros, al considerar factores como: el tiempo, la distancia, el costo del viaje, entre otros. Existen distintos modelos de viajes entre zonas:

Método	
Gravitacional con función de resistencia exponencial	$T_{ij} = \beta_i \alpha_j B_i A_j e^{-hc_{ij}}$
Gravitacional con función de resistencia potencial	$T_{ij} = \beta_i \alpha_j B_i A_j c_{ij}^{-n}$
Gravitacional con función de resistencia combinada	$T_{ij} = \beta_i \alpha_j B_i A_j c_{ij}^{-n} e^{-hc_{ij}}$
Gravitacional con función de resistencia generalizada	$T_{ij} = \beta_i \alpha_j B_i A_j \sum_m F^m \delta_{ij}^m$

Cuadro 2.2 Métodos sintéticos

donde, β_i y α_j son factores de balanceo similares al utilizado en el modelo de crecimiento doblemente acotado, c_{ij} es una función de costo del viaje, h y n son constantes apropiadas, m es un superíndice, F^m y δ_{ij}^m se utilizan para considerar el valor medio de costo por intervalo. Es importante destacar, que estos modelos tratan de ajustar las distribuciones del tiempo de viajes observadas en la mayoría de las ciudades (véase figura 2.2). Así, las funciones de resistencia exponencial o potencial tratan de ajustar la parte derecha del histograma, que modelan los viajes largos, mientras que la función de resistencia combinada trata de ajustar tanto la parte izquierda como derecha de los datos observados. Si bien es cierto, esta última función de resistencia reproduce más fielmente los resultados, es más difícil de ajustar, ya que involucra calibrar dos parámetros (n y h), a diferencia de los dos primeros que involucran un solo parámetro (n ó h).

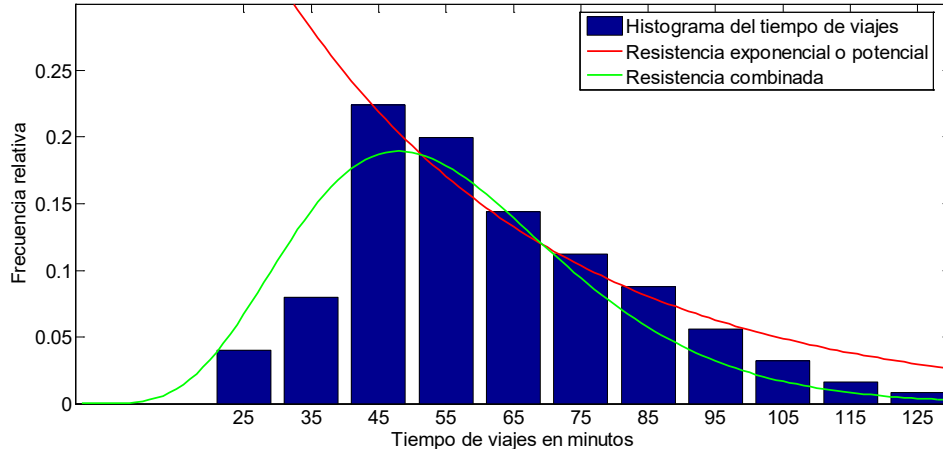


Figura 2.2 Distribución del tiempo de viajes

Los métodos gravitacionales tienen las ventajas de que presentan de un modo más riguroso el fenómeno de generación y atracción de viajes. Además, permiten la aplicación de técnicas ligadas a la teoría de la información y a la física como lo es la maximización de la entropía. Sin embargo, necesita un proceso riguroso de calibración y validación de los resultados. Desafortunadamente, para validar esta información se hace necesario utilizar escenarios del pasado, que no siempre están bien documentados.

2.1.3 Estimación de las matrices de viaje mediante encuestas

Las encuestas de generación y atracción de viajes usualmente están basadas en algún tipo de muestreo. Tradicionalmente se han realizado encuestas domiciliarias sobre las preferencias de movilidad urbana a partir de muestreo aleatorio simple. De acuerdo a Ortúzar y Willumsen [23] estas encuestas domiciliarias deben obtenerse de los desplazamientos efectuados por todos los miembros de la familia en todos los modos de transporte, tanto dentro del área de estudio como entrando y saliendo de dicha área, durante el período temporal de referencia. Además, se debe incluir información socio económica como nivel de ingresos, posesión de vehículos, tamaño y estructura de la familia. Esta información es necesaria para estimar los modelos de generación de viajes, así como de elección modal y la distribución de la longitud de los viajes en la ciudad, que es un elemento importante para la estimación de los modelos de distribución de los viajes. De acuerdo con Bruton [24] hasta hace muy pocos años se había propuesto la utilización de muestras muy grandes (entre 4% y 20% de la población).

Población del área	Tamaño de la muestra (viviendas)			
	Recomendado		Mínimo	
Menos de 50000	1 de 5	20%	1 de 10	10%
50000-150000	1 de 8	12,5%	1 de 20	5%
150000-300000	1 de 10	10%	1 de 35	2.86%
300000-500000	1 de 15	6.67%	1 de 50	2%
500000-1000000	1 de 20	5%	1 de 70	1.43%
Más de 1000000	1 de 25	4%	1 de 100	1%

Cuadro 2.3 Método clásico de selección del tamaño de la muestra

Los métodos para estimar el tamaño de la muestra a partir de enfoque estadístico más efectivo requieren información relacionada con la variable a estimar, su varianza y la exactitud de medición deseada, así como el intervalo de confianza asociada a la misma. Una vez se conocen estos factores, se utiliza la siguiente formulación propuesta por Smith[25]:

$$n = \frac{z^2 \sigma^2}{d^2}$$

donde, σ^2 es el coeficiente de varianza, d es el nivel de exactitud y z^2 es el valor de la variable Gaussiana estandarizada para un intervalo de confianza dado.

De acuerdo a Smith [25] se ha demostrado que para estimar 1100 viajes en una casilla de una matriz de generación y atracción de viajes con un intervalo de confianza de 90% y un nivel de exactitud del 25% se necesita muestrear el 4% de la población. Esto implica que si la casilla de la matriz implicara menos de 1100 de viajes una muestra inferior al 4% sería insuficiente. También se ha demostrado que es muy difícil reducir el error de medición a un nivel aceptable en áreas que cuentan con más de 100 zonas, ya para esos valores el tamaño de la muestra aproxima la población.

Una forma de disminuir aún más el tamaño de la muestra es aplicar una heurística de muestreo multietapa. Sin embargo, resulta muy recomendable combinar técnicas de muestreo domiciliarias con técnicas basadas en interceptación, para mejorar los resultados.

2.2 Modelos de generación y atracción de viajes en la ciudad de Panamá

El Banco Mundial realizó un estudio de movilidad urbana [14] aplicando una encuesta domiciliaria sobre la naturaleza socioeconómica del transporte. Esta consistió en tres cuestionarios: hogar, individuo y transporte y fue llevada a cabo en base a una submuestra de la Encuesta Niveles de Vida (ENVI) en el año 2003, consistiendo en 52% de aquella muestra original[26]. El diseño de la muestra es el mismo que para la encuesta ENVI y el número de hogares encuestado fue de 943 con un total de 3796 individuos encuestados. La encuesta se realizó en los hogares y el objeto de análisis fue el de los viajes realizados en días de semana. Aunque el estudio del Banco Mundial resulte bastante ilustrativo, como crítica constructiva, se debe indicar que el modelo de la encuesta aplicada no se anexó a este estudio del Movilidad Urbana del Banco Mundial [14], a diferencia del estudio ESTPUM [13] que si la incluyó en sus apéndices. Adicionalmente, no se indica el tipo de diseño de muestreo utilizado; es decir, por ejemplo, si fue un diseño de muestreo estratificado, o muestreo probabilístico por conglomerado polietápico, entre otros.

Sin embargo, es importante destacar que esta encuesta 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% corresponde un alto porcentaje de 9%.corresponde a motivos de viajes por compras En consecuencia, se evidencia que la mayoría de la población de la ciudad de Panamá, solo realiza viajes obligados debido al bajo nivel de movilidad[27].

Motivo de Viaje	Panamá	Santiago de Chile	Lima
Año de la Encuesta	2006	2002	2004
Trabajo	35.4%	23.3%	30.5%
Estudios	39.3%	18.0%	26.2%
Razones Privadas	25.3%	55.7%	37.5%

Fuentes: Encuesta Socioeconómica de Transporte Urbano, Banco Mundial 2006; Ministerio de de Transporte de Chile 2002; Secretaría Técnica Transporte Lima y Callao 2004

Cuadro 2.4 Motivos de viaje en la ciudad de Panamá. Fuente Banco mundial [14]

Otro resultado importante de la encuesta publicada en el estudio del Banco Mundial[14] es el que manifiesta que el 64.4% de los viajes al trabajo se hacen autobús, mientras que solo el 41.9% de los viajes escolares se hacen en autobús.

Modos	Motivos de viaje			Total
	Trabajar	Estudiar	Razones privadas	
Bus	64.4%	41.9%	43.7%	50.3%
Bus - empresa	1.9%	0.1%	0.1%	0.8%
Bus-taxi	2.0%	0.5%	1.5%	1.3%
Bus escolar	0.3%	13.8%	0.1%	5.6%
Auto	17.2%	1.5%	15.2%	10.6%
Pasajero carro	3.4%	4.7%	12.9%	6.3%
Taxi	4.2%	1.2%	11.3%	4.8%
Motocicleta	0.0%	0.0%	0.3%	0.1%
Bicicleta	0.1%	0.1%	0.0%	0.1%
Pie	6.3%	36.1%	14.2%	19.9%
Otro	0.1%	0.0%	0.4%	0.2%
No responde	0.2%	0.1%	0.1%	0.2%
Total	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Fuente: Encuesta Socioeconómica de Transporte Urbano, Banco Mundial 2006

Cuadro 2.5 Modos y motivos de viaje en la ciudad de Panamá. Fuente Banco Mundial [14]

En base a estos resultados es posible determinar cómo se distribuye la demanda del transporte público (autobuses) en función de la actividad, ya sea para trabajar, para estudiar o con fines privados. Este último cuadro, evidencia que el transporte público se utiliza principalmente para ir al trabajo. Esto significa que la mayoría del transporte público se debe destinar para satisfacer los picos de demanda de la mañana y de la tarde, dejando una flota de autobuses ociosa en las horas valles. Este mal se hacía evidente ya en los años 60 cuando Ricardo J Bermúdez escribió: *“En efecto, hay períodos en las mañanas y en las tardes de nuestra urbe capitalina cuando vemos transcurrir una gran cantidad de autobuses completamente vacíos u ocupados con un número mínimo de pasajeros. Esta situación es inaceptable desde el punto de vista, de su usufructuario y del conductor de otros vehículos para dirigirse a otros puntos de la ciudad.”*[28]

Distribución de viajes realizados en transporte público en función de la actividad	
Trabajo	45.3%
Estudios	32.7%
Fines privados	22%

Cuadro 2.6 Distribución de viajes realizados en autobús según la actividad (Elaboración Propia a partir de Banco Mundial[14])

En cuanto al reparto modal de los viajes realizados en el área metropolitana de la ciudad de Panamá, este estudio nos indica que la mayoría de los viajes se realizan en transporte público y el 16.9% en auto particular, ya sea como conductor o acompañante. La caminata como modo único, es decir no en calidad de acceso a otro modo de transporte, es del 19.9 %. Se destaca en un grado menor el transporte escolar con 5.6 % reflejando la

importancia de la alta escolaridad y viajes por motivo de estudio. La proporción de viajes en Santiago de Chile es 36,7%, en Sao Paulo 34,4%, Lima 24,4% y Bogotá 15,1% (distintos años), lo que implica que el potencial de crecimiento de los viajes a pie es significativo en Panamá, en particular en relación con los viajes no obligados, lo que tiende a mostrar que con mayores facilidades peatonales esta proporción podría ser mayor[14], [27].

Reparto modal	
Modo de transporte	Porcentaje de los viajes
Autobús	50.3
Pie	19.9
Auto	10.6
Pasajero de auto	6.3
Bus escolar	5.6
Bus-empresa	1.0
Bicicleta	0.1
Motocicleta	0.1
Taxi	4.8
Otros	1.3

Cuadro 2.7 Reparto modal en la ciudad de Panamá (Estudio Banco Mundial[14])

El transporte público es el modo principal para ir al trabajo, pero el automóvil aún se usa para los trayectos domicilio-trabajo. El transporte público no solo tiene un rol preponderante por el volumen de viajeros que transporta y la amplitud de la población que usa el servicio, sino también porque es el modo principal para ir al trabajo. Sin embargo, de los trayectos que se realizan en automóvil (16,9%); 43.3% de estos rehacen para ir al trabajo[14]. Por consiguiente, uno de los grandes desarrollos que deberá enfrentar el AMP en los años venideros será el paulatino desincentivo para viajes domicilio o trabajo a favor de su uso para otros motivos cuya concentración sea fuera de las horas pico.

Los altos tiempos promedio de viaje en el AMP reflejan la problemática de la reducida funcionalidad de la ciudad[27]. Los tiempos promedio de viaje en AMP son de 57 minutos en promedio, 66,5 minutos en transporte público, y 50,6 minutos en automóvil particular. A título de comparación, Santiago de Chile son más de 5 millones de habitantes y 15,660 km de superficie cuenta con un tiempo de viaje promedio de 45 minutos en transporte público y 24 minutos en automóvil. La provincia de Panamá (unidad administrativa que contiene al AMP, pero más grande en extensión) es 11,500 km en su superficie y el AMP cuenta con alrededor de 1,7 millones de habitantes[14].

En el estudio Estpum [13] se realizaron Encuestas de Preferencias Declaradas. Las encuestas de preferencias declaradas (PD o SP de la denominación Stated preference) que pretenden recoger información sobre respuestas a mejoras del transporte público. Se pregunta al encuestado sobre aspectos o escenarios hipotéticos sobre los que se aporta información previa que permita al entrevistado valorar situaciones todavía inexistentes o desconocidas previamente para él o ella[29].

El desplazamiento de un usuario de transporte colectivo es generalmente compuesto por una cadena de desplazamientos. El tiempo de recorrido en el modo de transporte principal representa solamente una parte del tiempo de desplazamiento total del origen al destino final. La distribución del tiempo de recorrido en el modo principal aparece en el Figura 2.3. El tiempo promedio de recorrido en el autobús es 44 minutos para la muestra.

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 distribución de los tiempos totales por rangos de 15 minutos aparece en el Figura 2.4-.

Por otro lado, la percepción del tiempo de recorrido da resultados bastante diferentes, pues los dos terceros de la muestra dicen que el tiempo de recorrido es muy lento o lento. Aquí se demuestra una visión muy negativa de las condiciones de desplazamiento en la ciudad de Panamá por parte del usuario del transporte público colectivo, quien no está satisfecho con sus tiempos de recorrido.

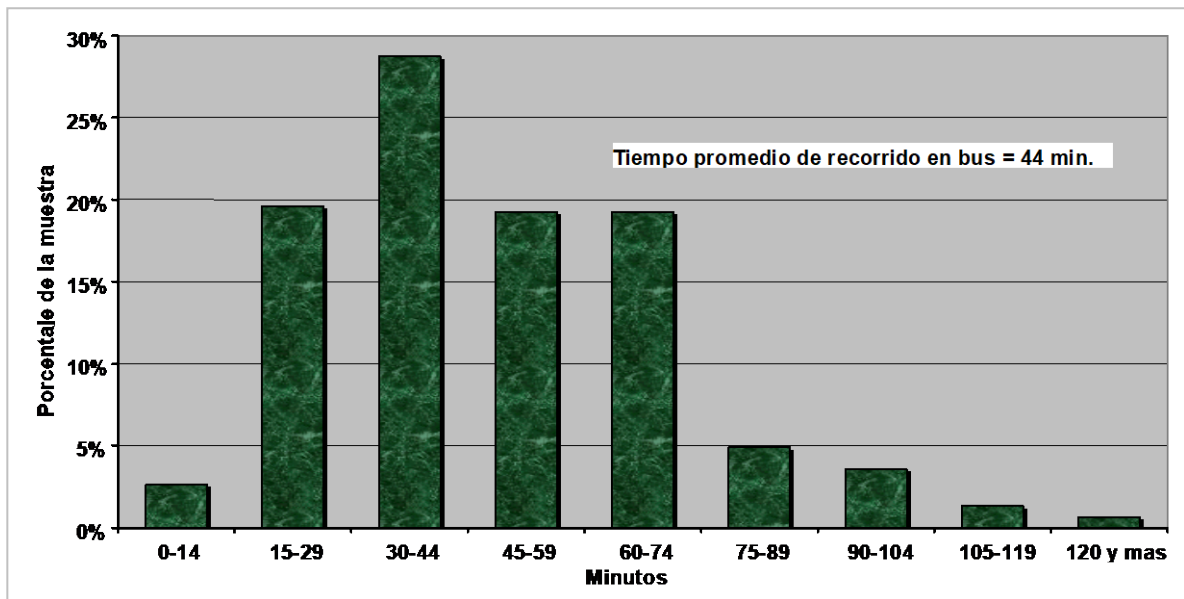


Figura 2.3 Distribución del Tiempo de Recorrido en el Autobús (Modo Principal). Fuente: Encuesta de preferencias declaradas, Abril 2000

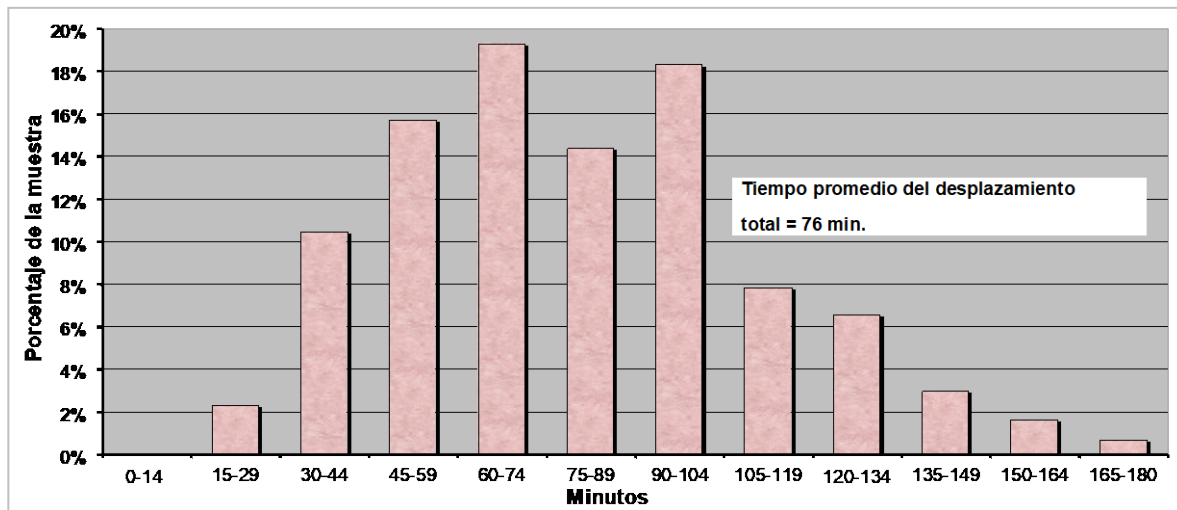


Figura 2.4-: Distribución del Tiempo Total de Desplazamiento de Origen a Destino. Fuente: Encuesta de preferencias declaradas, abril 2000

Otros resultados importantes del informe del Banco Mundial [14] se resumen a continuación:

- El alto porcentaje de viajes con trasbordo en la red de transporte público refleja las limitaciones de esta y el impacto de la estructura vial de la Ciudad de Panamá.
- El 21.8 % de los viajes realizados en transporte público involucran uno o más transbordos. Si se comparan con Santiago de Chile el número de viajes con trasbordo es de alrededor del 8%. En general, en ciudades con redes de transporte público que han evolucionado con mucha libertad y poca jerarquización se observa bajo niveles de trasbordo puesto que las rutas tienden a ofrecer servicios para casi todos los pares origen-destino. Lo que llama la atención de Panamá es el alto nivel de trasbordo, tratándose de una red de transporte público que ha sufrido poca regulación y se ha desarrollado con alta participación del sector operador.
- La ciudad de Panamá presenta un sesgo muy significativo en materia de espacio urbano que favorece al automóvil y penaliza al desplazamiento a pie. Mientras los desplazamientos a pie representan el 20% de los desplazamientos del área urbana de Panamá, es decir la misma proporción que la movilidad en automóvil privado, la disposición espacial de la mayor parte de las calles favorece a este último modo de transporte.
- El servicio de taxi o transporte en la AMP tiene una flota extremadamente alta, y juega un rol complementario al de la red de buses[27].
- Según la encuesta socio económica de transporte 4,8 % de los viajes realizados en un día laboral típico en el AMP se realizan en taxi y 1,2 % en una combinación bus- taxi. Además de los viajes de trabajo el 4,2 % se hacen en taxi, su uso para trayectos al trabajo y en combinación con buses indica que también está complementando de alguna manera las deficiencias de la red de transporte público.
- Existe en Panamá una relativamente amplia utilización de los servicios de transporte de traslado de empleados organizados por las empresas y de escolares.
- La encuesta socio económica de transporte indica que el 1% de los viajes se realizan en servicios de transporte empresarial. El transporte de escolares, y estudiantes es aún mayor, hasta el 5,6 % de todos los viajes son realizados en buses escolares. Ello refleja la importancia de los viajes por motivo de estudios y alta proporción de población escolarizada o estudiando.
- El gasto en transporte para los hogares más pobres del área metropolitana de Panamá es casi 4 veces mayor que el promedio y casi 8 veces mayor que los hogares del quintil más alto[27].
- Panamá registra elevadas tasas de accidentalidad con 30,000 accidentes en el 2005.
- Programa de *"caminabilidad en el espacio público"*. Los viajes a pie son un modo de transporte esencial en la movilidad urbana tanto aisladamente como en su fusión articuladora para viajes en otros modos. En Panamá, se ha determinado que constituye el 20% de todos los viajes.
- La distribución espacial de esta población se ha polarizado de tal manera, que el incremento ocurre exclusivamente en las periferias, y la composición demográfica de ese incremento poblacional se atribuye, sobre todo, a la expansión interna de núcleos familiares y asentados en la ciudad y no a la inmigración proveniente de otras regiones del país (se calcula que esta última no alcanza el 20% del incremento total durante el pasado decenio).

- Por ejemplo, un “hombre” activo, viajará por lo menos 2 veces diarias en una semana, la ida y la vuelta al trabajo. En el AMP, el número de viajes promedio individual es 1,34 y el número de viajes motorizados individual es 1.07 (índice general de movilidad), lo que significa un total de desplazamientos diarios en el AMP de 1,98 millones.
- La cantidad de viajes diarios promedios realizados por hogar en el AMP es 5,21 y 4.15 viajes promedio motorizados. Si esta cantidad de viajes es ponderada por el número de miembros del hogar, que es 3.9 en Panamá, el número de viajes promedio por individuo es 1,34 y el número de viajes motorizados es de 1,05. Si considera solo la cantidad de viajes por individuo que efectivamente viaja, el número promedio de viajes totales por individuo es 2.17 y el número promedio de viajes motorizados es 2,05 lo que es de esperar ya que un individuo debe hacer en teoría por lo menos dos viajes: la ida y la vuelta.
- Correlación entre movilidad y nivel de ingresos. Estos datos muestran la alta correlación entre los ingresos y la movilidad, tanto individual como en el hogar[27]. Esta relación se observa en general en muchas ciudades, ya que a medida que los ingresos aumentan la posibilidad de realizar viajes no obligados aumenta. Este resultado es particularmente claro en relación con los viajeros motorizados[27].
- Por consiguiente, el índice de movilidad general, que mide la cantidad de viajes efectuados, por cada individuo aumenta con los ingresos, ya que este concepto encierra dos aspectos que se ven afectados por el nivel de ingresos de la población y la sociedad.
- La tasa de motorización en la provincia de Panamá paso de 130 vehículos por 1000 habitantes en 1992 a 208 vehículos por cada 1000 habitantes en 2005, o sea un crecimiento de 3,7% mayor que le crecimiento poblacional
- Puesto, en otros términos, el índice de motorización en 1992 era de 1 vehículo cada 7,7 habitantes, mientras que en el 2005 la relación pasó de ser 1 vehículo cada 4,8 habitantes.
- La provincia de Panamá además concentra el 71 % de la flota vehicular del país, por lo que la tasa de motorización nacional es de 146 vehículos, por 1000 habitantes, lo que sitúa a Panamá en el rango superior de motorización con relación a su PIB per cápita según análisis del tema.
- Fuente socioeconómica de transporte urbano, BM 2006. Reparto modal en el AMP con alta incidencia de viajes en transporte público y a pie. En el AMP de Panamá la mayor de los viajes se realiza en transporte público y 16,9 % en auto particular, ya sea como conductor o acompañante. La caminata como único, es decir, no en calidad de acceso a otro modo de transporte, es de 19,9 %. Se destaca con un grado menor el transporte escolar con 5.6%, reflejando la importancia de la alta escolaridad y los viajes por motivo de estudio. En este marco llama la atención el porcentaje alto de viajes realizados a pie dadas las condiciones imperantes en Panamá de deficiente infraestructura peatonal y de difíciles condiciones climáticas[27].
- Los viajes a pie son mayoritariamente realizados por estudiantes y personas de bajos ingresos.
- El transporte público es el modo principal para ir al trabajo[27].
- El vehículo particular tiene un uso alto para el motivo trabajo. En Panamá, 43,4 % trabajo; 14,4% estudios y 42,2 % razones privadas. En este sentido, uno de los grandes desafíos que deberá enfrentar el AMP en los años venideros, será el paulatino desincentivo de uso particular para viajes domicilio trabajo a favor de su uso para otros motivos cuya concentración se da fuera de las horas pico[27].

- Motivos de viaje por modos de transporte. La alta proporción de viajes en transporte público que se realizan por motivos obligados demuestra la proporción de usuarios que no tienen modos alternativos, puesto que la calidad de servicio del transporte público no es alta.
- Como resultado los trayectos de las rutas tienden a responder a criterios del operador, tal y como se reflejó anteriormente en este informe. Esta situación deriva en un gran número de transbordos (21,8% de los viajes), y que se podrían considerar una externalidad negativa sobre el usuario o en el sistema actual, dado que implican más costo y penalizaciones para este.
- El tiempo promedio de viaje en taxi es de alrededor de 29 minutos, lo que implica que se usa esencialmente para viajes cortos y mayoritariamente para viajes no obligados. Sin embargo, su uso para trayectos al trabajo y en combinación con buses indica que también esta complementado de alguna manera las deficiencias.
- 1% de los viajes es transporte empresarial a empleados.
- El transporte de escolares y estudiantes es aún mayor, ya que según la encuesta socioeconómica de transporte hasta el 5,6% de todos los viajes son realizados en buses escolares. Ellos reflejan la importancia de los viajes por motivo de estudios y la alta proporción de población que está estudiando.
- En el caso de Panamá, el 47% de los accidentes con víctimas fatales se producen durante el fin de semana, razón que hace suponer que la razón es el alcohol.
- El 40 % del conjunto de accidentes fatales registrado en la provincia de Panamá está registrado con atropellos.
- Las estadísticas del Ministerio de Salud registran que las enfermedades respiratorias llegaron a ocupar el 1998 la cuarta posición entre los factores causales de muerte en los panameños (ATTT, 2005).

2.2.1 Modelo de zonas y macrozonas de la ciudad de Panamá

La Autoridad de Tránsito y Transporte Terrestre ATTT y el Ministerio de Obras Públicas han adoptado un modelo de zonal para el estudio de movilidad del área metropolitana de la ciudad de Panamá, con Al momento de redactar este informe solo se conocía de la existencia de dos estudios de clasificación zonal. El primera data del año 2000 y es utilizado por el proyecto ESTPUM que utiliza 66 zonas de atracción y generación de viajes, con 10 macrozonas, a lo largo del área metropolitana. Mientras el segundo estudio, propone 90 zonas de atracción y generación de viajes, que posiblemente data del año 2005 y es utilizado por el proyecto del monorriel propuesto por JICA[30].

En el informe del proyecto ESTPUM se detalla claramente todos los datos relevantes a las matrices que atracción y generación de viajes, lo que facilita contrastar adecuadamente, la propuesta. Sin embargo, este no es el caso de la propuesta del proyecto del monorriel de JICA[30], lo que dificulta contrastar apropiadamente los resultados. Este trabajo, se limitará a utilizar el modelo de la matriz de viajes suministrado por ESTPUM (véase cuadro 2.8 y el apéndice de este trabajo) para el análisis de los resultados, ya que a pesar de todos los esfuerzos realizados, no ha sido posible obtener las matrices de demanda utilizadas en el modelo de JICA[30]. No obstante, hay que resaltar que las matrices de viajes utilizadas en ESTPUM se basaron solamente en 314 encuestas por interceptación y

aunque se halla basado en una heurística de muestreo multietápica no considero combinarlas con encuestas domiciliarias, lo que limita la exactitud esperada de los resultados. Según autores como Zamorano *et al.* [29] el trabajo de campo específico es clave para conocer la situación real del transporte. En todo caso el primer trabajo de campo debe hacerse consiste en el conocimiento del territorio, recorriéndolo y visualizándolo. Esto es vital y no puede hacerse ningún estudio de transporte sin ello. La relación entre transporte y territorio es completa. Las encuestas domiciliarias cara a cara se suelen realizar para conocer las pautas de movilidad general y abarcar todo tipo de desplazamientos. Completan además la información socioeconómica del hogar y del individuo. Son, evidentemente, muy costosas pero muy necesarias. Las encuestas domiciliarias son necesarias para el cálculo de los coeficientes de expansión se asignan a cada hogar, persona entrevistada y viajes realizados según la zona y estrato de hogar al que pertenecieran.

2.2.2 Análisis de macrozonas y proyecciones de crecimiento futuras

De acuerdo con el estudio del Banco Mundial[14], se estima que el 46% de la población del país habita en el área metropolitana de la ciudad de Panamá, en otras palabras, alrededor de un millón y medio de habitantes. A lo largo de los años ha quedado evidenciada la interdependencia existente entre cuatro distritos del área metropolitana de la provincia de Panamá: Panamá, San Miguelito, Arraiján y Chorrera. En consecuencia, cualquier estudio de movilidad urbana de la ciudad de Panamá debe analizar estos cuatro distritos como un solo núcleo urbano y no separadamente.

En cuanto a las macrozonas existentes puede observarse lo siguiente:

1- **Macrozona centro:** Esta incluye los corregimientos de San Felipe, Chorrillo, Santa Ana, Calidonia y Curundú. En esta área existe un marcado proceso de despoblación residencial, que en opinión algunos estudios parecen irreversible. No obstante, aquí se encuentra un área comercial importante, así como algunas sedes de ministerios, delegaciones gubernamentales y el hospital Santo Tomás. En consecuencia, esta resulta un área importante de atracción de viajes orientados a trabajar en la hora pico matutina. Adicionalmente, desde hace algunos años atrás el corregimiento de San Felipe se perfila con un fuerte potencial turístico, ya que este alberga al casco antiguo de la ciudad de Panamá.

2- **Macrozona centro sur:** Esta considera las zonas de la Cresta, Urracá, Obarrio, el Cangrejo, Paitilla y El Carmen. Aquí, se encuentra el centro bancario de la ciudad de Panamá, el Hospital de la Caja del Seguro Social y la Universidad de Panamá y algunas zonas comerciales importantes, conjuntos de hoteles, restaurantes y otros centros de ocio. En este sentido, esta área también resulta un área importante de atracción de viajes orientados a trabajar, estudiar y viajes por razones privadas.

3- **Macrozona centro oeste:** Aquí se incluye las zonas de Viejo Veranillo, la Locería, Los Ángeles, el Dorado y Betania. Esta zona se caracteriza por ser de poco crecimiento demográfico, debido a la falta de terreno urbanizable. Es decir, podría catalogarse como una zona urbana saturada. Sin embargo, aquí se encuentra una zona industrial, lo que se traduce en una zona importante de atracción de viajes y adicionalmente se encuentra el Campus Central de la Universidad Tecnológica de Panamá.

4- **Macrozona centro norte:** Esta incluye las zonas de San Francisco, Altos del Golf, Linda Vista, Vista Hermosa, La Sabana y Pueblo Nuevo. Esta zona también se caracteriza por ser de muy poco crecimiento demográfico, debido a la falta de terreno urbanizable. No obstante, aquí se ha desarrollado comercialmente el área del antiguo aeropuerto Marcos Gelabert y la zona de Punta Pacífica. Adicionalmente, la zona de la Sabana y Pueblo Nuevo encontramos algunas industrias, empresas de telecomunicaciones y de medios de comunicación masiva.

5- **Macrozona centro este:** Esta se caracteriza por las zonas de Parque Lefevre, Panamá Viejo, Progreso, La Rosita, Villa Elena, Monte Carlo, Villa Lorena y Chanis. Esta zona también es de muy poco crecimiento demográfico. Sin embargo, resulta importante el desarrollo de zonas comerciales el área Costa del Este.

6- **Macrozona sureste:** Aquí se incluye por las zonas de Santa Clara, Llano Bonito, Juan Díaz, El Crisol y Cerro Viento. Esta zona residencial presenta algunos centros comerciales importantes en torno a las Avenidas José Domingo Díaz y José Agustín Arango.

7- **Macrozona este:** Esta es una muy importante zona residencial que incluye Pedregal, Las Acacias, Tocumen, Aeropuerto, Mañanitas, Cañitas y Pacora. Aquí existen, algunos centros comerciales importantes, algunas industrias y el Aeropuerto Internacional de Tocumen.

8- **Macrozona noreste:** Esta es una zona residencial densamente poblada que incluye el distrito especial de San Miguelito y el corregimiento de las Cumbres. Aquí existen, algunos centros comerciales importantes, algunas industrias, el Hospital San Miguel Arcángel, una terminal de autobuses, pero hoy en día es la principal zona de generación de viajes.

9- **Macrozona noroeste:** Esta es una zona de baja densidad demográfica que incluye las áreas revertidas. No obstante, aquí se encuentran la gran Terminal de Transporte de Albrook lo que la convierte en un intercambiador importante de viajes para el área metropolitana con conexión al resto de la República. Aquí también existen centros

educativos, la Universidad Especializada de las Américas, la Ciudad del Saber, el Tecnoparque Internacional de Panamá y locales comerciales importantes.

	Macrozonas	Zonificación Desagregada	Macrozonas	Zonificación Desagregada
1	'Centro'	1 San Felipe 2 Chorrillo 3 Santa Ana 4 Calidonia Sur 5 Calidonia Norte 6 Curundú	6	'Sureste' 32 Santa Clara 33 Llano Bonito 34 Juan Díaz 56 El Crisol 58 Cerro Viento
2	'Centro Sur'	7 La Cresta 8 Urraca 9 Obarrio 10 Cangrejo 11 Paitilla 14 El Carmen	7	'Este' 35 Pedregal 36 Las Acacias 37 Aeropuerto 38 Tocumen 39 Las Mañanitas 40 Cañitas 41 Pacora
3	'Centro Oeste'	16 Viejo Veranillo 17 Locería 18 Los Ángeles 19 Dorado 20 Bethania	8	'Noreste' 43 Las Cumbres 52 V Lorenzo 53 La Pulida 54 Altos Bosques 55 Samaria 57 Valle Urracá
4	'Centro Norte'	12 San Francisco 13 El Golf 15 Vista Hermosa 21 Linda Vista 22 Pueblo Nuevo 23 Sabana	9	'Noroeste' 42 Parque Soberanía 44 Parque Metropo/Clayton 45 Corozal/Los Ríos 46 Curundu Bajos 47 Albrook 48 Altos Diablo 49 Ancón 50 Balboa 51 Amador
5	'Centro Este'	24 Parque Lefevre 25 Panamá Viejo 26 Progreso 27 La Rosita 28 Villa Elena 29 Monte Carlo 30 Villa Lorena 31 Chanis	10	'Oeste' 61 Howard 62 Cocolí 63 Arraiján 64 Veracruz 65 Vista Alegre 66 Chorrera

Cuadro 2.8 Macrozonas de estudio. Equivalencia con zonificación desagregada. Fuente: Renardet, S.A. Septiembre 1998[31].

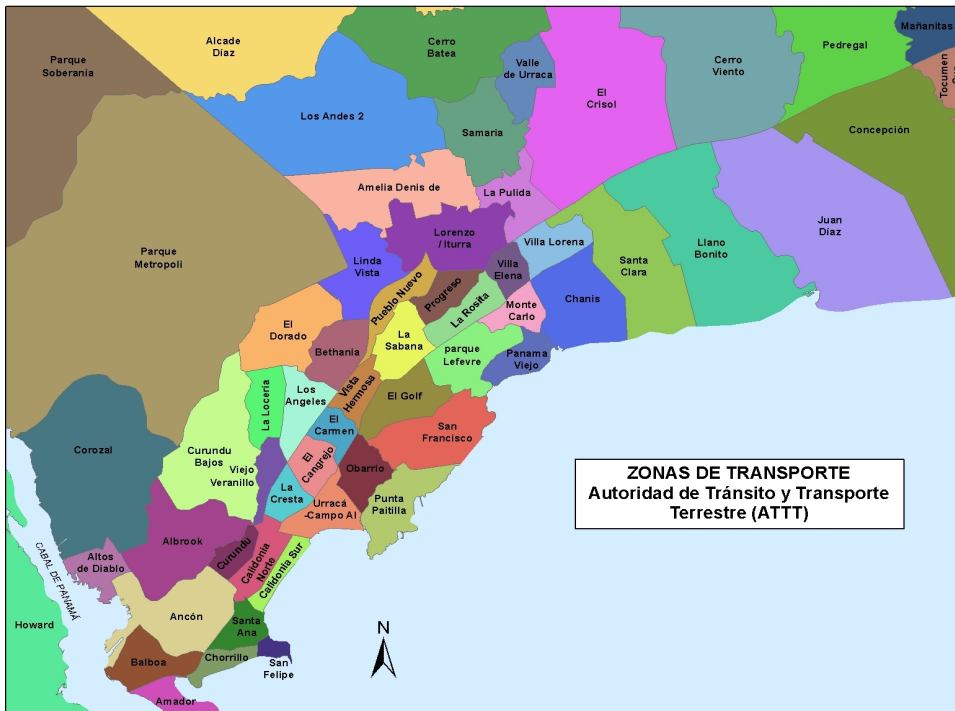


Figura 2.3 Zonas de Transporte de la ciudad de Panamá [13](ESTPUM 2000)

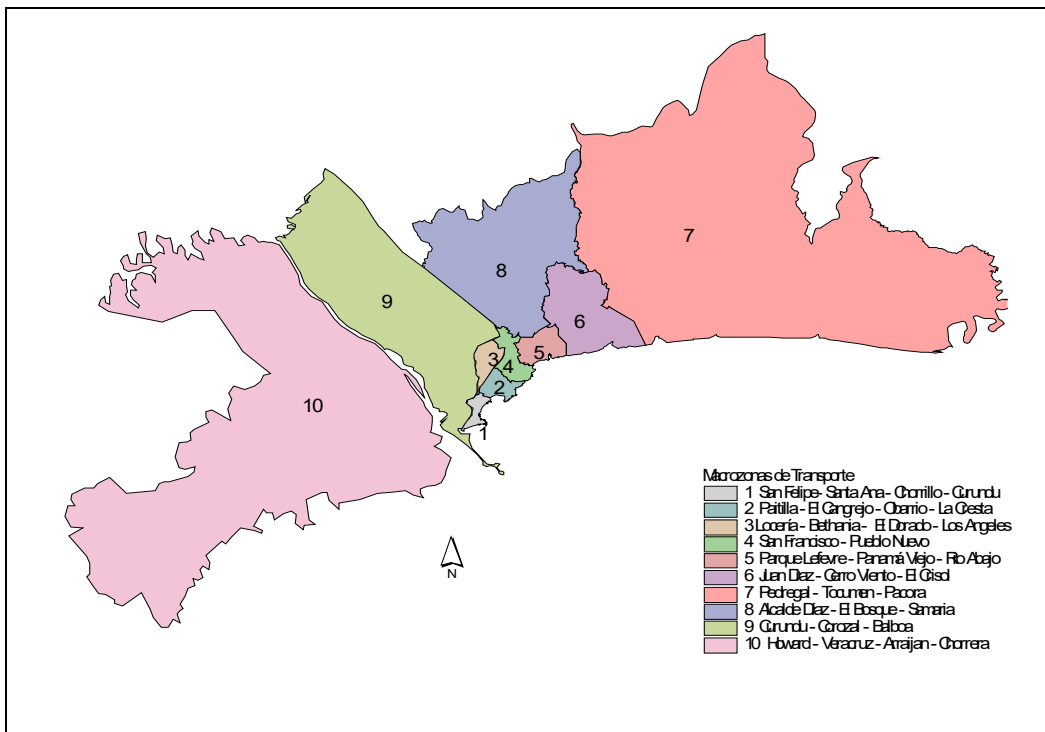


Figura 2.4 Macrozonas de Transporte de la ciudad de Panamá (ESTPUM 2000)[13]

10- **Macrozona oeste:** Esta es otra zona residencial muy importante que incluye los distritos de Arraiján y Chorrera. Esta zona se vislumbra como la zona generación de mayor crecimiento en el futuro, de acuerdo con las proyecciones del Plan de Desarrollo Urbano de las Áreas metropolitanas del Pacífico y del Atlántico, presentado en el año 1997 por el Ministerio de la Vivienda.

Los resultados presentados muestran que las zonas con mayores empleos se siguen concentrando en las zonas centro, centro sur y centro oeste. Es interesante destacar que estos resultados ya se conocían en 1993, cuando el arquitecto Ricardo J. Bermúdez[21] manifestó que: *“Más de 2 millones 100 mil viajes diarios individuales se hacen en el área metropolitana y cerca del 40% se dirige al centro bancario y al casco viejo de la ciudad de Panamá”*[22][32]. En comparación con el estudio ESTPUM [13] el número total de desplazamientos motorizados diarios realizados en la ciudad de Panamá era de 1,5 millones en 1995. Eso correspondía a una movilidad (número de desplazamientos motorizados por persona) cerca de 1 desplazamiento por día. El reparto modal de los desplazamientos entre el modo privado y el modo público era bastante equilibrado con una proporción ligeramente superior del modo público que representa el 55% del total de los desplazamientos. Estas cifras son más reveladoras aún, cuando señala que “en los años 60 circulaban en la ciudad de Panamá, 78 mil vehículos, en tanto que en 1993 circulaban unos 200 mil diariamente”[22][32].

Es importante destacar que en base a la documentación suministrada por la ATTT y el proyecto ESTPUM, se vislumbra los siguientes crecimientos demográficos aplicables a las 10 macrozonas en cuestión.

Población	2000	2005	2015
1 Centro	77816	56748	43592
2 Centro Sur	48022	66319	99238
3 Centro Oeste	32728	30975	29107
4 Centro Norte	62458	53061	46917
5 Centro Este	71574	66127	60935
6 Sureste	85639	91294	95848
7 Este	221498	258503	308432
8 Noreste	376313	446462	535995
9 Noroeste	9372	9745	10355
10 Oeste	224529	268486	397601
Total	1209948	1347720	1628020

Cuadro 2.8. Proyección del crecimiento de la población por macrozonas (ATTT).

Aquí se evidencia el fuerte crecimiento de las zonas este y oeste de la zona metropolitana de Panamá e igualmente el decrecimiento de las macrozonas centro, centro oeste, centro norte, centro este en relación con el año 2015. Por otro lado, el crecimiento del empleo se recoge en el cuadro a continuación:

Empleo	2000	2005	2015
1 Centro	102838	105112	123276
2 Centro Sur	95512	102431	132964
3 Centro Oeste	51421	54510	70303
4 Centro Norte	41053	44080	56107
5 Centro Este	26384	29396	38063
6 Sureste	22694	24925	33042
7 Este	21847	24616	35567
8 Noreste	21044	23351	29835
9 Noroeste	15772	31645	43015
10 Oeste	19807	21329	25058
Total	418372	461396	587230

Cuadro 2.9 Proyección del crecimiento del empleo por macrozonas.

(Fuente ATT)

Los autores Aymerich *et al.* [33] nos indican que la estructura de un área metropolitana madura responde a un esquema policéntrico, con un núcleo central y una órbita de ciudades satélites, todas ellas de alta densidad y con una superespecialización de los usos del suelo, la movilidad metropolitana venía caracterizada por los siguientes factores:

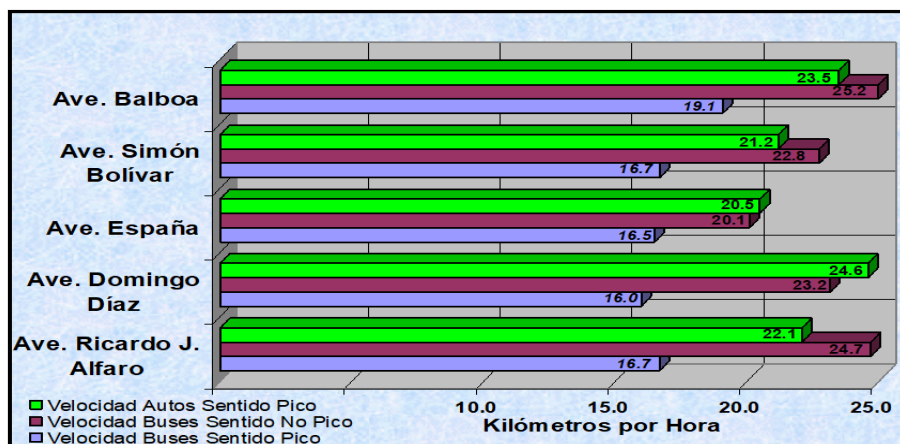
- Fuerte radialidad de los desplazamientos.
- Concentración de orígenes-destino.
- Concentración temporal de los desplazamientos.
- Una elevada –pero decreciente– participación de los modos de transporte público.
- Una baja movilidad relativa personal.
- En nuestro caso, el núcleo central del área metropolitana de la Ciudad de Panamá correspondería a la macrozona 1 y la macrozona 2, y la órbita de ciudades satélites correspondería a la macrozona 10 Oeste (Arraijan y la Chorrera), macrozona 8 noroeste (San Miguelito), macrozona 7 este (24 de diciembre, Tocumen). En cuanto a la baja movilidad relativa personal, al comparar la movilidad de nosotros, los panameños y las panameñas, con otras ciudades latinoamericanas [14] vemos que la Ciudad de Panamá tiene un promedio de la

cantidad de viajes de Panamá (1.34) menor que la que tiene ciudades como: Santiago de Chile (1.73), Lima (2,1) o Sao Paulo (1.88) y en cuanto a la concertación temporal de los desplazamientos podemos afirmar que los mismos están fuertemente concentrados en dos periodos picos de 5:00 a.m. a 8:00 a.m. aproximadamente y en las horas de tarde de 5:00 p.m. a 8:00 p.m.

3 Síntesis de estudios ferroviarios en la República de Panamá. Propuestas para la implantación de un sistema ferroviario para el transporte masivo de pasajeros en la ciudad de Panamá. (Producto 1)

3.1 El sistema de transporte público existente

En la ciudad de Panamá operan aproximadamente 60 líneas de autobuses con una flota superior a 1800 unidades (véase cuadro 3.1), con una longitud media de unos 35 Km. La velocidad comercial es de unos 20 Km/h y en algunos casos por debajo de 15 Km/h debido a la congestión del tráfico casi permanente a lo largo del día[31] (véase figura 3.1) En el estudio de INECO [34] se sostiene que dentro de la franja horaria 5:00 a las 23:00 horas, la frecuencia media próxima a los 300 servicios/día en las líneas principales. El significado de lo anterior de cara al usuario de transporte público en una parada aleatoria vería desfilar un total de 300 autobuses dentro de este período de 5:00 a.m. a 11: 00 p.m.



Fuente: Renardet, S.A., investigaciones de velocidades.

Figura 3.1 Velocidades en el transporte público. Fuente Renardet[31]

En una actualidad un tanto más reciente, Banco Mundial[14] Panamá presenta altos niveles de congestión vehicular a lo largo de los corredores principales tanto longitudinales como transversales, con velocidades vehiculares medias en la hora pico de la mañana de 18Km/h y en hora pico de la tarde 16 km/h.

En el estudio ESTPUM [13] para determinar la velocidad comercial de los vehículos de transporte público se aprovechó la encuesta sube y baja y la presencia de encuestadores

en los vehículos de las rutas que recorren los corredores estudiados para medir las velocidades comerciales de estos vehículos en algunos tramos de la red vial. El Cuadro 3.1 presenta dicha información para los tramos más representativos.

Se nota que la velocidad comercial de los vehículos de transporte colectivo baja considerablemente de la periferia al centro. En la periferia, la velocidad comercial puede alcanzar los 15 km/h, en tanto que en el centro los vehículos son dos veces más lentos. Los niveles de velocidad son semejantes en los dos sentidos, hacia el centro o hacia afuera, lo cual denota que los niveles de congestión afectan a todo el tránsito vehicular.

Cuadro 3.1: Velocidad Comercial de los Vehículos de Transporte Público en la Hora Pico de la Mañana

Vía y Tramo	Velocidad (Km/h)
Vía España	
Hacia el Centro	
Tramo: Cincuentenario - Fernández de Córdoba	13.59
Tramo: Fernández de Córdoba - Federico Boyd	6.97
Tramo: Federico Boyd - Plaza 5 de Mayo	6.63
Hacia Afuera	
Tramo: Plaza 5 de Mayo - Federico Boyd	8.25
Tramo: Federico Boyd - Fernández de Córdoba	8.37
Tramo: Fernández de Córdoba - Cincuentenario	12.15
Transístmica	
Hacia el Centro	
Tramo: San Miguelito - Universidad	15.55
Tramo: Universidad - Plaza 5 de Mayo	7.84
Hacia Afuera	
Tramo: Plaza 5 de Mayo - Universidad	8.15
Tramo: Universidad - San Miguelito	11.98

Fuente: Aforos de sube y baja, Abril 2000.

A lo largo de los años se ha demostrado que el sistema de transporte público en Panamá ha colapsado, como evidenciaban los textos interesantes y precisos de Ricardo J. Bermúdez sobre la situación de tránsito vehicular a inicios de la República en los años alrededor de 1918 [1948]. Este mismo autor panameño nos expone la misma situación inconclusamente resuelta [1966]: *“Nuestros problemas de tránsito requieren medidas ingeniosas a tono con las facilidades técnicas a disposición de quienes tienen el deber de solucionarlos. La agudización de estos conflictos se ha vuelto evidente en muchas ciudades, pero de modo especial en la urbe capitalina. Es el centro económico, político y social de la República, donde se hace evidente la necesidad de un estudio serio y comprensivo de las enormes dificultades que nos acarrea el haber descuidado este aspecto fundamental de la planificación urbana”*[35]. Bermúdez en otro texto de este mismo año 1966 nos manifiesta: *“Entre los cientos de inconvenientes que trituran la ecuanimidad del panameño y lo obligan a exasperarse, ninguna compete en intensidad con los problemas derivados del tránsito y el congestionamiento de nuestras calles y*

avenidas. Este asunto es tan crónico y detestable, que rebasa aún las molestosas torturas que nos infligen la línea telefónica o los ruidos innecesarios que por doquier dejan escapar sus insoportables estridencias. Constituimos una comunidad a punto de perecer en las fauces de ese dragón contemporáneo que es el automóvil, al que se le ha dejado hacer y pasar como le venga en gana al conductor tiránico.”[28]

Esta situación se ha mantenido hasta décadas próximas a nuestros días actuales como podemos apreciar en el siguiente texto de año 1993 de mismo autor: *“De manera que a muchos sorprende, se han agravados los problemas del tránsito vehicular en nuestra urbe capitalina. Sobre todo, por la aparente premura con que se condujeron tan desconcertantes fenómenos. En cuestión de pocas semanas, algunas calles y avenidas semejan haber perdido la razón de ser que las convertía en útiles arterias de comunicación vial.”[36]* Otro texto del mismo autor fue: *“Una de las dolencias más perceptibles es la que ocurre con el tránsito vehicular. Los congestionamientos que se producen al trasladarnos de uno a otro sitio hacen casi intolerable circular por sus avenidas y calles. A cada momento descubrimos que las escasas trochas que aun favorecerían al tránsito han sido inutilizadas por nuevas y aterradoras acumulaciones de vehículos automotrices.”[36].*

En el año 1994, Bermúdez mencionó lo siguiente: *“El congestionamiento vehicular que hoy encontramos es casi todas las calles y avenidas de nuestra ciudad, en gran medida proviene de los factores recién destacados. Con demora de varios lustros, muy pocas fueron las aportaciones oficiales en materia de planeamiento, a fin de poder superar los inconvenientes que se habían acumulado.”[37]*

En el año 1996, se Bermúdez comento lo siguiente: *“Las vías de tránsito vehicular, sobre todo las utilizadas por el transporte público, sufren hoy de una saturación irreparable. Su congestionamiento no se aliviará con nuevos conductos de circulación, o el ensanche de los existentes. Hora es de pensar en la instalación de un sistema tipo rapid transit cuyas posibilidades están claramente delineadas en los espacios que ocupan las jardineras en ciertas avenidas principales. Construir las pistas elevadas y estaciones no sería difícil, lo mismo que extender sus ramales hacia los suburbios.”*

Según el estudio de Movilidad Urbana del Banco Mundial[14]: Este presenta una problemática de ajuste de las tarifas a la tasa de inflación, un costo elevado de mantenimiento de la flota vehicular, una capacidad de servicio al usuario insuficiente en las horas pico e incluso en las horas valle, que según INECO [34] era atribuible a la longitud excesiva de las líneas en las arterias principales. Algunos estudios sugieren que la antigüedad de la flota es de unos 20 años, con un mantenimiento pobrísimo, con tanto altas tasas de consumo de combustible, como de emisiones de gases contaminantes. El estándar de capacidad de asiento de los autobuses en el área de metropolitana es 55, y durante el periodo pico matinal, en los autobuses que operan en el corredor de Transistmica se observa que llevan un promedio de 61 pasajeros, aunque en las tasas de ocupación en la hora pico, ha sido muy superior.

Nombre de la ruta	Cantidad por ruta		Propietarios	
	Flota registrada	Flota en operación	Individuales	Empresas
Boca la Caja-Chorrillo	45	36	31	5
Automotor	41	3	3	
Veranillo/Samaria	263	205	192	
Villa Rica	29	20	16	
Las manañitas	128	132	132	
Don Bosco/Bello Horizonte	144	127	127	
Tocumen	137	129	129	
Panama Viejo	217	199	196	21
Pedregal	206	173	173	
Pacora	30	29	29	
Concepción	113	82	82	
San Pedro	54	44	44	
Alcalde Díaz	72	53	44	9
Chilibre	102	66	66	
Ciudad bolivar	66	32	32	
24 de diciembre	108	82	81	1
Chepo	41	35	35	
Felinillo	52	43	43	
Paso Banco, La mesa, y Urribe	25	18	18	
El valle	32	23	23	0
Bethania	76	2	0	2
Los Andes	68	33	32	1
Mano de Piedra	167	76	73	3
Santa Librada	197	103	103	
Torrijos Carter	140			
Palacio Legislativo	16	13	13	
SACA	21			
Sub Total	2590	1758	1717	42
Villa Grecia, Q. Ancha, La Unión, San Vicente, Guarumal, Caimitillo y Calzada Larga (rutas interpas)	68	68	63	5
La cabina, T.carter, villa acuario,(rutas internas)	14	14	11	6
Bueno aires- Calzada larga	5	5	2	3
Nuevo Caimitillo- La cabina	2	2	2	0
Sub-total	234	89	78	14
Total	2824	1847	1795	56

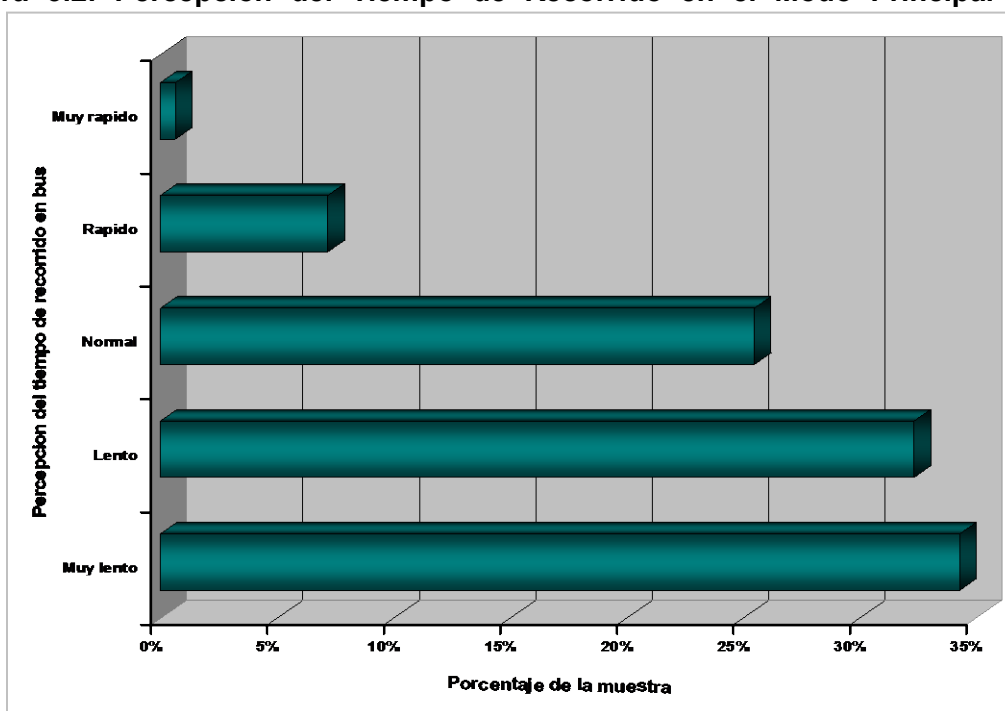
Cuadro 3.2 Rutas de autobuses existentes. Fuente: ATTT en Movilidad Urbana

Según el estudio del Banco Mundial[27], el servicio de transporte es de mala calidad incomoda y de poca seguridad, sin embargo, los usuarios consideran que las frecuencias y conveniencia de las rutas son adecuadas. Existen 31 rutas de transporte público,

operadas con una flota de 1847 vehículos con teóricamente 42 empresas y 1717 operadores. La flota tiene un promedio de edad de 15,6 años compuesta por buses escolares de segunda mano. La calidad y condiciones de mantenimiento de la flota son pésimas. Los usuarios estiman en un 85% que el sistema es regular, malo o muy malo.

En el estudio ESTPUM [13] la percepción del tiempo de recorrido en el modo principal no era nada alentador ya que los mayores porcentajes están dentro de las categorías de lento y muy lento. Este estudio sostenía que existía, según los resultados de la muestra, una visión muy negativa de las condiciones de desplazamiento en la ciudad de Panamá por parte del usuario del transporte público colectivo, quien no está satisfecho con sus tiempos de recorrido.

Figura 3.2: Percepción del Tiempo de Recorrido en el Modo Principal Fuente:



Encuesta de preferencias declaradas, Abril 2000[ESTPUM, 2000]

En el estudio ESTPUM [13] con respecto al sistema de transporte público existente en la Ciudad de Panamá y en base a estudios anteriores, el Ministerio de Obras Públicas identificó que existían en 1997, 57 rutas concesionadas de transporte urbano en la ciudad de Panamá para operar las rutas troncales y suburbanas, indicando una gran atomización de la propiedad del transporte público, con una flota total registrada de 1,825 autobuses. No existían empresas de transporte como tales, a excepción de una Cooperativa organizada (SACA), que ha evolucionado en los últimos años, a partir de una empresa privada que operó en el área del Canal de Panamá por muchos años.

Del total de vehículos registrados, 1,535 autobuses correspondían a rutas troncales y 290 a 12 rutas suburbanas. Además, existían 63 rutas "internas" con 537 autobuses registrados. Sumando los totales de flota registrada en las rutas troncales y alimentadoras (o internas), se obtiene un total de 2,072 unidades registradas para un total de 102 rutas urbanas, sin contar las 12 rutas que se consideran suburbanas, pero que dan servicio primordialmente al área metropolitana. El total de autobuses existentes en 1997 en las rutas troncales en Panamá por tanto era de 1,535 con edad promedio de 17.7 años. El vehículo que más se repetía era un Ford del año 1981 y le seguía un International del año 1981, en su gran mayoría autobuses tipo escolar, con una sola puerta angosta adelante, alrededor de 55 puestos estrechos y 20 personas paradas.

Las frecuencias promedio durante el día de las rutas troncales eran en 1997 de 8.5 vehículos por hora (vph), y los intervalos promedio en el día eran de 7 minutos. En la hora pico de la mañana, la frecuencia promedio era de 9.7 vph y el intervalo de 6.2 minutos.

3.2 Posible trazado de rutas ferroviarias para transporte masivo de pasajeros

La implantación de un sistema masivo de pasajeros es una tarea cuidadosa, que debe tomar en cuenta, no solo los aspectos relativos a la demanda de pasajeros, sino también las características topográficas del terreno por donde pasan. Al implementar sistemas de transporte público de tipo más masivo, como el metro, los tranvías o sus similares, se altera fundamentalmente dos cosas: la velocidad y el número de trasbordos. A su vez, sus usuarios son en su mayoría las personas de menores ingresos de la población, los cuales no tienen acceso al transporte privado.

En los sistemas ferroviarios para transporte masivo de pasajeros se prefiere utilizar trazados que utilicen avenidas importantes, que conecten las zonas de atracción y generación de viajes, ya sea de forma subterránea o aérea. En la ciudad de Panamá existen varios corredores que cumplen con estas características. Sin embargo, hay dos corredores que unen de forma natural dos macrozonas importantes de generación de viajes con dos macrozonas importantes de atracción de viajes. Estos son la avenida Simón Bolívar-Transístmica y la vía España-José Agustín Arango. En este sentido las propuestas presentadas en estudios previos involucran estos corredores o combinaciones de estos. Ahora se analiza los trazados propuestos más importantes.

3.2.1 Trazado avenida Simón Bolívar-Transístmica

Esta avenida conecta la macrozona 8, que incluye al densamente poblado distrito de San Miguelito y que es la principal macrozona de generación de viajes, con el centro de la ciudad de Panamá. Primeramente, en el estudio de INECO (A) se propuso conectar el puente de San Miguelito con la Plaza 5 de Mayo utilizando este corredor. Esta idea fue retomada en el estudio de JICA (A) extendiendo el mismo hasta el Valle de San Isidro y la Gran Terminal de Transportes en Albrook (véase figura 3.2)

Esta alternativa tiene la ventaja que utiliza gran parte de la ruta de las actuales líneas de autobuses. Además, permite el acceso al Hospital de CSSS, a la Universidad de Panamá, el Hospital Santo Tomás y así como algunos ministerios y otras agencias gubernamentales ubicadas en el corregimiento de Calidonia.

Es importante destacar la avenida Transístmica es el único corredor libre que comunica la macrozona 8 con el centro de la ciudad, ya que la otra ruta, el Corredor Norte es de peaje. Esto tiene implicaciones importantes, ya el desarrollo de una línea ferroviaria en esta ruta debería impactar muy positivamente sobre el congestionamiento vehicular en la zona de las Cumbres y San Miguelito.

3.2.2 Trazado vía España-José Agustín Arango

Esta avenida conecta la macrozona 7 que involucran las áreas de Tocumen y la 24 de Diciembre que tienen una tasa de crecimiento demográfico muy importante, con las macrozonas 1 y 2. Esta alternativa, también fue propuesta tanto por el estudio de INECO (B), como por el estudio de JICA (C) y se propuso conectar la zona del puente de Pedregal con la Plaza 5 de Mayo. En el estudio de JICA[30] se propondría extender la conexión hasta la Gran Terminal de Transportes en Albrook (véase figura 3.2)

Esta alternativa también tiene la ventaja que utiliza gran parte de la ruta de las actuales líneas de autobuses. Además, esta ruta pasa más cerca del centro gravedad de la macrozona 2, que es la mayor macrozona de atracción de viajes de la ciudad de Panamá, que la avenida Simón Bolívar. No obstante, aunque dificulta el acceso al Hospital de CSSS y a la Universidad de Panamá, conecta efectivamente el Hospital Santo Tomás y los demás ministerios y agencias gubernamentales ubicadas en el corregimiento de Calidonia.

3.2.3 Trazado combinado vía Transístmica-vía España

Este trazado, trata de combinar las mejores características de los dos anteriores. En otras palabras, conecta de forma más efectiva la macrozona de mayor generación de viajes con la macrozona de mayor atracción de viajes. Esta alternativa que utiliza la vía Fernández de Córdoba para conectar la vía Transístmica con la Vía España fue propuesta por INECO[34], ESTPUM (A) y por JICA (B).

Esta alternativa tiene el inconveniente que si bien existen algunas rutas de autobuses que la utilizan, no es la más utilizada hoy en día. Si bien es cierto, la causa que produce esta baja demanda no es lo suficientemente clara, algunos estudios sugieren que esto se debe a distorsiones propias del sistema actual de transporte. Por ejemplo, es sabido que algunos usuarios prefieren conectar a través de la Gran Terminal de Transporte en lugar de realizar una conexión directa. Esta maniobra tiene como objetivo, acceder más fácilmente alguna plaza dentro del autobús o llegar más temprano a su destino, en este caso utilizando el Corredor Norte.

3.3 Trazado de las Líneas 1, 2 y 3 de metro

El trazado combinado vía Transístmica-vía España fue el seleccionado para la Línea 1 del metro, por la Secretaría del Metro de Panamá (véase figura 3.3). En consecuencia, para la expansión del metro a la zona este de la ciudad de Panamá se hace necesario la conexión de la Línea 1 con el corredor de la Vía España-José Agustín Arango o con la Avenida José Domingo Díaz (véase figura 3.4).

La utilización de la Avenida José Domingo Díaz fue propuesta en el estudio de INECO[34], sin embargo, esta opción provocaría una rápida saturación de la Línea 1, ya que sumaría todos los viajeros de las macrozonas 6 y 7 a los provenientes de la macrozona 8. Una posible solución a este problema sería extender la línea por la Avenida Ricardo J. Alfaro, para continuar desde allí hasta Albrook, aunque no está muy claro que esta solución fuera suficiente.

Una mejor alternativa, sería utilizar la Vía España-José Agustín Arango, que además de servir a muchos más usuarios que tradicionalmente utilizan el servicio de autobuses (es importante recordar que la Avenida José Domingo Díaz sirve a usuarios que se movilizan principalmente en automóviles particulares), realiza la conexión con la Línea 1 más adelante, cerca de los límites de la macrozona 2. La conexión en este lugar disminuye en alguna medida el riesgo de saturación de la Línea 1, aunque no lo garantiza. Una alternativa para mejorar este problema fue sugerida por ESTPUM (B) y consistía en

conectar la vía España con el tramo no servido por la Línea 1 de la Avenida Transístmica utilizando la calle 64 para continuar desde allí hasta la Gran Terminal.

La conexión de la macrozona 10, que involucra la zona oeste de la provincia de Panamá, involucra la construcción de un tercer puente sobre el canal. Este puente debe contemplar la instalación de vías férreas que permitan conectar la ciudad de Chorrera con Panamá por medio de un tren de cercanías. Este trazado, aunque en principio, presenta menos dificultades técnicas que las líneas 1 y 2, involucra la construcción de este nuevo puente.

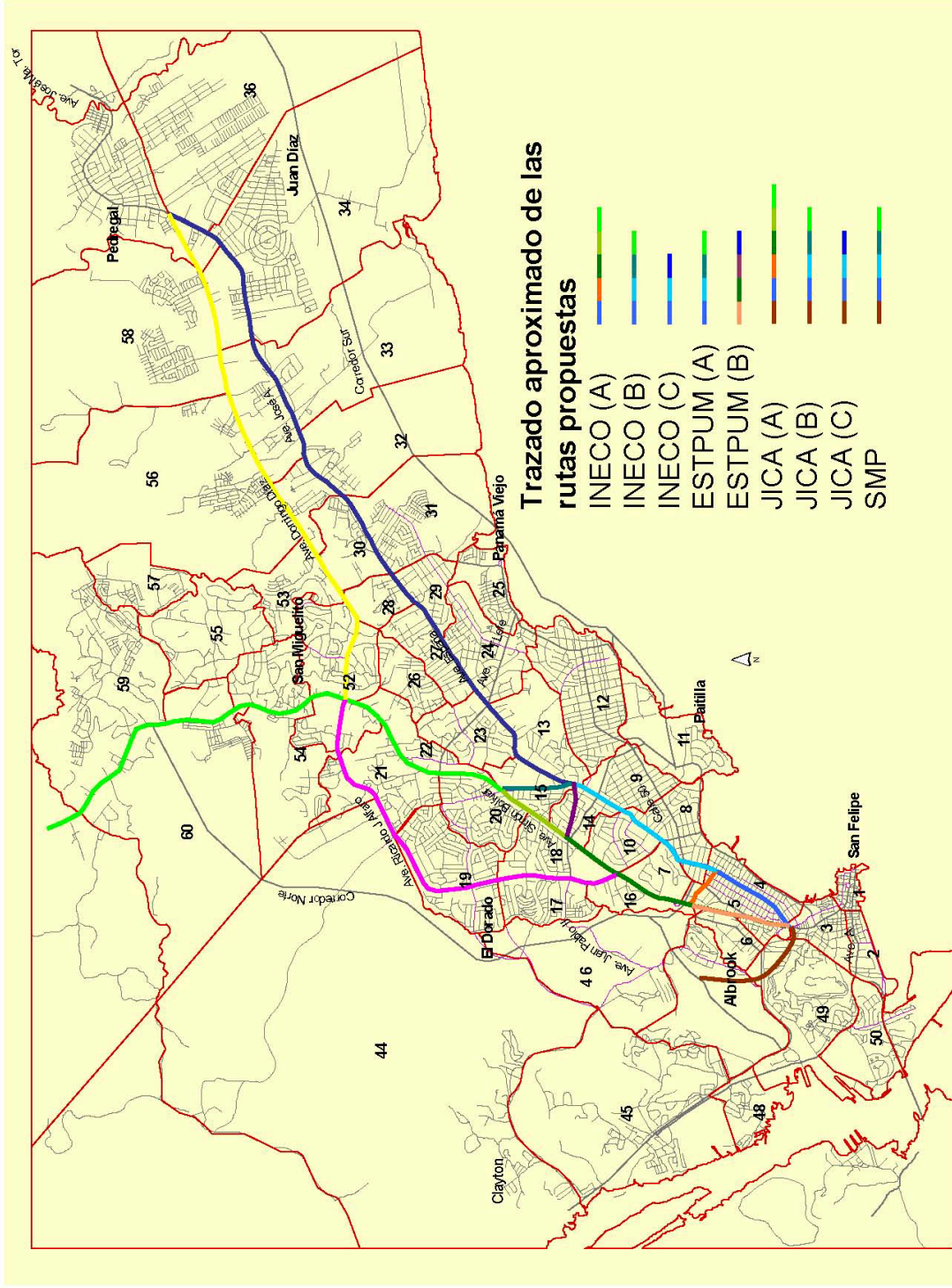


Figura 3.2 Trazado de aproximado de las rutas propuestas. Elaboración propia

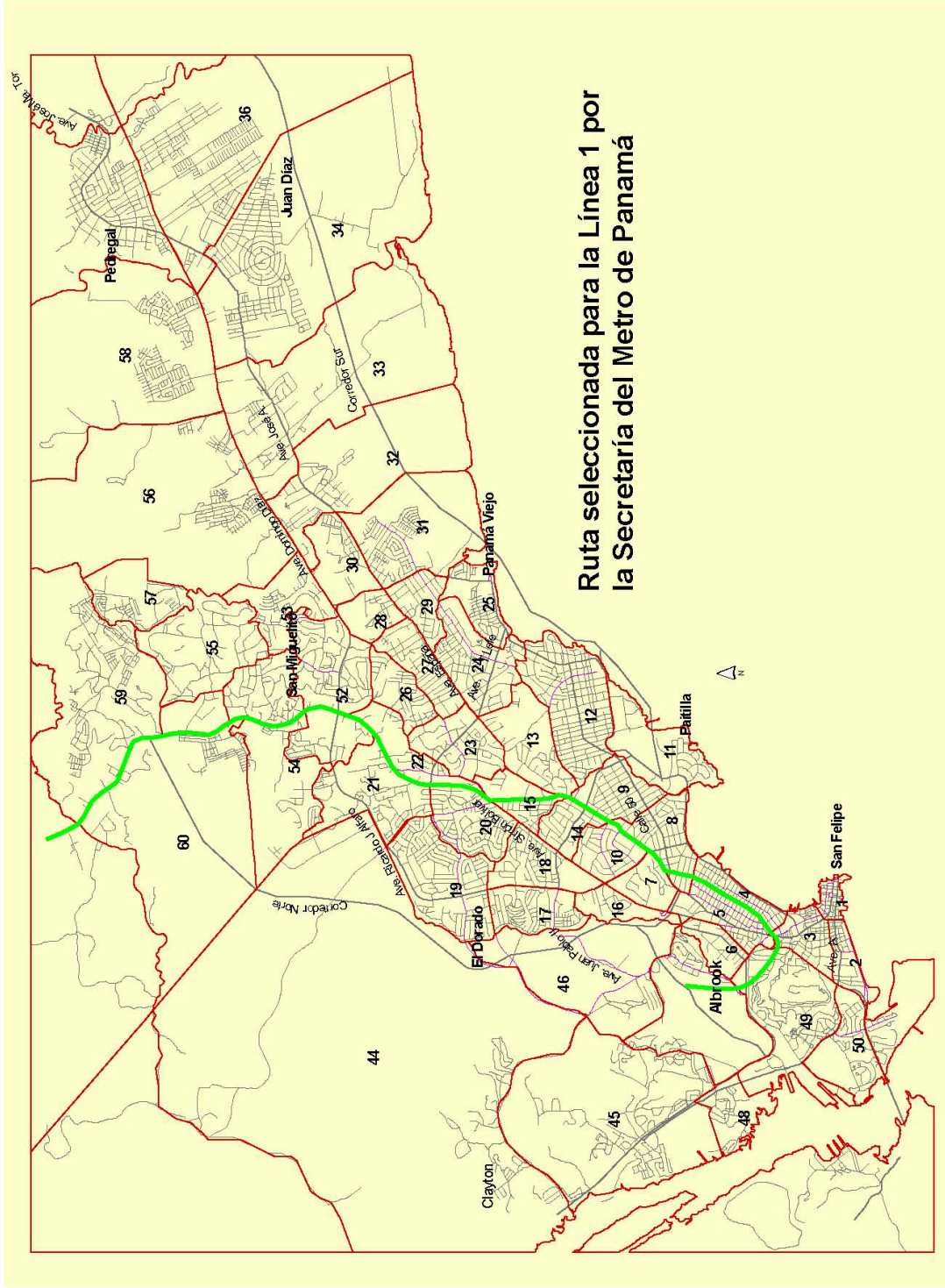


Figura 3.3 Trazado de aproximado de las rutas seleccionadas para la Línea 1. Elaboración propia

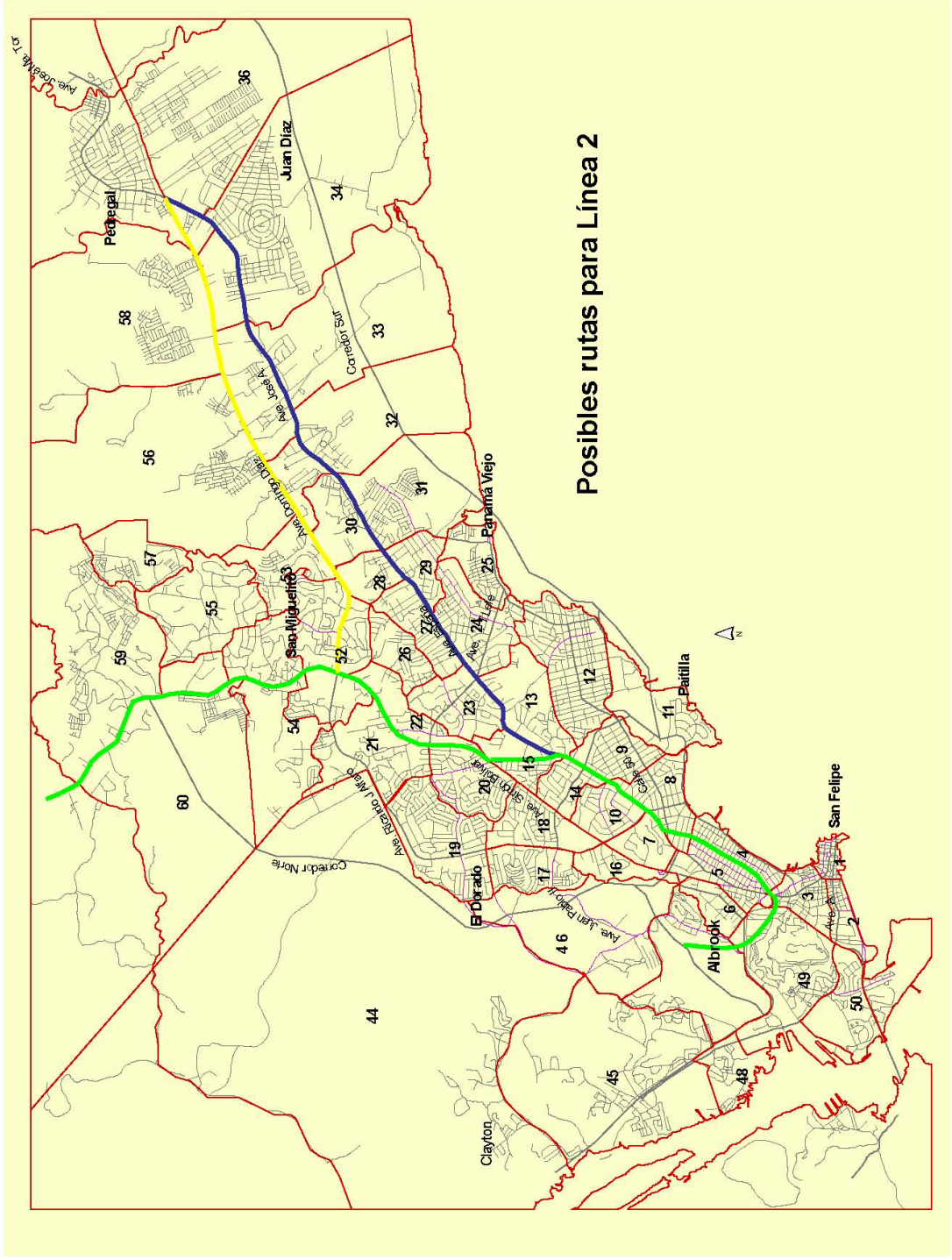


Figura 3.4 Posibles trazados de las rutas seleccionada para la Línea 2. Elaboración propia.

3.4 Síntesis de los aspectos críticos de los sistemas ferroviarios estudiados. Análisis de las tecnologías ferroviarias propuestas (Producto 2)

Como preámbulo al análisis de las tecnologías ferroviaria propuesta se presenta el siguiente cuadro 3.3 donde se exponen las tres categorías de sistemas de transporte dependiendo del grado de segregación de la infraestructura[38]:

Infraestructura vial	Velocidad circulación	Capacidad	Tecnología vehicular
Compartida	V<15 km/h	Menor de 6000 v/h/s	Autobuses
Semi-compartida	V>20 km/h	Entre 6000 v/h/s y 20000 v/h/s	Autobuses Metro ligero
No compartida o exclusiva	V>50km/h	Mayor de 20000 v/h/s	Metro, Ferrocarril suburbano

Cuadro 3.3. Comparación por categorías. v/h/s: vehículo/hora/sentido. Elaboración propia.

Se han propuesto fundamentalmente cuatro tecnologías ferroviarias para la implementación de un sistema de transporte masivo de pasajeros. Estas tecnologías son el tren ligero o tranvía moderno, el monorriel, el metro y el tren de cercanías.

En el cuadro 3.4 se presenta una tabla comparativa de elaboración propia con el objetivo de facilitar las comparaciones entre tecnologías de transporte ferroviarias y vehiculares. Los valores presentados en dicha tabla son de carácter orientativo.

Según autores como Melis *et al.*[39], Fuentes-Losada *et al.*, [40] la velocidad de explotación de un ferrocarril, y concretamente en el caso de metros, metros ligeros o tranvías, tiene diferentes enfoques, a saber:

- Velocidad media, como la relación directa entre el espacio recorrido por un tren en una determinada línea y el tiempo total invertido.
- Velocidad comercial, calculada como la velocidad media, pero añadiendo los tiempos de las paradas que efectúa el tren, tanto las paradas en estaciones intermedias (15 a 30 segundos) como las paradas y cambios de sentido en estaciones terminales (30 a 60 segundos).
- Velocidad máxima, que es la velocidad máxima instantánea que puede alcanzar un determinado tren.
- Velocidad objetivo, que es la velocidad máxima a la que debe ajustarse el tren en cada momento, según circunstancia o contingencias como la geometría de la vía, aparatos existentes en la misma etc.

El intervalo, conocido también como “headway” normalmente se define como el tiempo transcurrido entre el instante en que un tren abandona una estación y el instante de la llegada del siguiente tren a dicha estación[4][41], [42][43], [44]. Conjugando velocidad,

intervalo (directamente relacionado con el número de trenes en la línea) y número de viajeros por metro cuadrado de vehículo se obtiene la capacidad de transporte del servicio prestado.

Características	Autobús urbano convencional	Tranvía Clásico	Monorraíl japonés	Metro ligero Tranvía moderno	Metro pesado o convencional	Tren de cercanías
Capacidad por sentido	2400-8000	4000-15,000	10,000-35,000	6000-40,000	20,0000-80,000	Mayor a 20,000 90,000(cap 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	400-1200	750-2000
Frecuencia mínima (seg)	137	-----	150	180	90	90
Distancia interestación	250-1200	250-1200	730-2000	350-1500	500-2000	2000-10000
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	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

Cuadro 3.4. Comparación entre categorías. Elaboración propia en conjunto con la UPM(España).

3.4.1 Tren ligero / tranvía moderno

La utilización de esta tecnología fue inicialmente sugerida en el estudio de INECO “Estudio de posibilidades de la implantación de un sistema de metro ligero/tranvía en la Ciudad de Panamá” en 1999. En este estudio se propuso la implantación de un tren ligero ó tranvía moderno en tres posibles corredores, la vía Transístmica, la vía España y un corredor combinado. El tren propuesto se elegiría partiendo de dos hipótesis; la primera era que el tren captara el 100% de la demanda, mientras la segunda propone que el tren captara el 70% tendría las siguientes características:

<u>Longitud</u>	<u>31,30 m</u>
<u>Ancho</u>	<u>2.20 m a 2.65 m</u>
<u>Altura</u>	<u>3,20 m</u>
<u>Bidireccional</u>	
<u>Asientos</u>	<u>64</u>
<u>Plaza de pie (6 pers./m²)</u>	<u>210</u>
<u>Total</u>	<u>274</u>

Cuadro 3.5 Características del tren ligero propuesto INECO[34]

<u>Longitud</u>	<u>30m</u>
<u>Ancho</u>	<u>2.65</u>
<u>Capacidad (5 pers./m²)</u>	<u>240</u>

Cuadro 3.6 Capacidad del tren ligero propuesto INECO[34]

En este primer estudio, se segregó la macrozona 10 relativa a las zonas de Panamá Oeste, en concreto los núcleos residenciales de Arraiján y Chorrera, tampoco ha quedado claro el límite de consideración del área de Tocumen, en concreto el área este del 24 de diciembre, y zonas como Chepo, lo que evidencia una visión incompleta ya que de acuerdo al “*Plan de desarrollo Urbano de las Áreas metropolitanas del Pacífico y del Atlántico (Plan Metropolitano)*” ya existente en el año 1997[45]. Es importante destacar que, si bien es cierto, la ruta propuesta en el proyecto de INECO no pasaba por estas zonas excluidas de estudio; resulta inadecuado no considerar en los cálculos de demanda del área metropolitana los flujos de estos viajeros potenciales provenientes de estas zonas de la periferia. Adicionalmente tampoco se consideró el distrito de Ancón, ni San Martín. Las áreas no consideradas, presentan hoy muchos nuevos núcleos de asentamientos residenciales y comerciales; y se han convertido hoy en nuevos núcleos poblacionales. Más tarde, en el estudio ESTPUM se subsanó este problema incorporando a las otras áreas que no se consideraron. Aquí, se proponía dos corredores cruzados para conectar San Isidro con la Plaza 5 de mayo y el cruce de Pedregal con la plaza 5 de Mayo con un tren ligero con las siguientes características:

Hipótesis	Captación del transporte publico	Intervalo	Plazas	Reserva de plataforma
1	100%	3 minutos	500	80-90%
1	100%	2.5 minutos	450	80-90%
2	70%	2,5	300	80-90%
2	70%	4	500	80-90%

Cuadro 3.7 Características del tren ligero propuesto ESTPUM[13]

Trayecto	Intervalo
P. 5 Mayo-Vía España-Pedregal	2 min
P. 5 Mayo-Transistmica-San isidro	2.25 min

Cuadro 3.8 Intervalo de servicio del tren ligero propuesto en ESTPUM[13]

El principal problema con esta propuesta es que se basa en la suposición de que el tren ligero compartirá la ruta con los autobuses existentes. Es decir, se trataría de un sistema de transporte categoría B o infraestructura parcialmente segregada (plataforma semicompartida). Este planteamiento no es compartido por la ATTT hoy en día, ya que se desea diseñar una red integrada, en la cual los autobuses participen como alimentadores del sistema de transporte masivo de pasajeros. Además, como este sistema cuenta una infraestructura vial semicompartida con los automóviles, presenta limitaciones importantes en los tiempos de viaje, lo que puede saturar rápidamente el sistema a los pocos años de operación.

En Vuchic[46] es obvio que el transporte a través del metro ligero ocupa una posición en el espectro de los modos del transporte entre los autobuses y los sistemas del metro. La mayoría de las comparaciones, por lo tanto, identifican metro ligero con características más intensivas que los autobuses, pero menos extensas que el metro.

Vuchic [46] nos presenta una serie de razones positivas para un sistema de transporte basado en el metro ligero (LRT), las cuales presentamos de manera resumida a continuación:

1. Flexibilidad en diseño y la implementación. De todos los modos del transporte que requieren inversiones de capitales a lo largo de la ruta, LRT ofrece una mayor capacidad para adaptarse a varias restricciones más que cualquier otro modo de transporte ferroviario o basado en carriles guías. Hay aspectos razonables que se pueden con respecto a la estructura del sistema, y allí existen oportunidades para el ahorro de los costes debido a la flexibilidad de los estándares. El derecho de paso no tiene que ser exclusivo del metro ligero, los vehículos pueden ser de varios tamaños, la línea puede construirse incrementalmente, y los horarios y los tamaños del tren pueden ajustarse a la demanda.

2. Conservación de la eficacia mecánica y de la energía. Como modo de transporte en carril, LRT tiene la capacidad de mover un peso considerable con relativamente poco consumo de energía (si se asume que mucha gente debe ser movida). Los combustibles fósiles basados en Petróleo- no se utilizan, y la corriente eléctrica necesaria se puede producir desde posiciones remotas que confían en una variedad de fuentes de energía. La eficacia termal de motores eléctricos es absolutamente buena.

3. Confiabilidad y seguridad de operaciones. La vía da estabilidad y control del movimiento, y, por lo tanto, las ocasiones para la colisión y el salir del fuera del camino se reducen al mínimo.

4. Productividad de trabajo. Cada vehículo del metro ligero no importa cuando grande sea, requiere solamente una persona para operarlo. Las tareas de mantenimiento no son difíciles o demasiado complicadas y los vehículos se diseñan deliberadamente para hacer que todos los componentes sean fácilmente accesibles. El mantenimiento de los cableados y de la vía o carriles no implica ningún esfuerzo extraordinario.

5. Calidad y atracción del paseo. Es bien conocido que, en las vías ferroviarias, los buenos vehículos con ruedas resistentes y los sistemas de suspensión avanzados, el movimiento es liso y sin vibraciones. Hay mucho mayor aceptación del LRT por parte de todos los grupos sociales y económicos, incluyendo la clase media, en este tiempo que, de cualquier otro modo comunal del transporte, excepto quizás el tren de cercanías. Esta característica llega a ser cada vez más importante en una sociedad próspera donde los pasajeros cuentan con una comodidad significativa y están conscientes de su estado y cómo se percibe su conducta por los otros. Cómo nos vestimos, qué juegos jugamos, quienes son nuestros amigos, y nos importa qué tipo de transporte utilizamos.

6. Características ambientales. No se genera ninguna contaminación atmosférica local, por supuesto, aunque pueda haber emisiones en la planta de la corriente eléctrica. El voltaje empleado no es bastante para causar ninguna preocupación por la radiación electromagnética. Un sistema bien-mantenido será prácticamente silencioso, pero puede haber perturbaciones. Aunque los vehículos sean grandes, no ha habido prácticamente quejas sobre su aspecto visual o estético en la inserción en el entorno urbano.

7. Aceptación de la imagen y de la comunidad. Se miran como ambientalmente responsables, políticamente correctos, y social relevantes. La abertura de una línea de metro ligero es una enorme oportunidad de la foto para todo el gobierno y dignatarios cívicos.

Este mismo autor, que constituye ya una referencia clásica en cuanto a los sistemas de transporte urbano en las metrópolis universales nos señala también las precauciones que debemos conocer con respecto a los proyectos de metro ligero o tranvías modernos.

1. **Carácter fijo.** Cualquier sistema ferroviario se fija en el lugar donde se construye. Aunque este pueda ser movido reconstruyendo, los hábitos y los patrones de los viajeros se establecen. Cualquier modificación importante es inverosímil a menos que ocurran los cambios drásticos en utilización del suelo y la distribución de las actividades.

2. **Interferencia con tráfico de la calle.** La mayoría de las operaciones del tranvía moderno o tren ligero ocurren en combinación con el tráfico de la calle para ahorrar los costos del derecho de paso, sin embargo, al no tener una infraestructura vial totalmente segregada en plataforma reservada habrá un deterioro en la rapidez y la confiabilidad del servicio.

3.4.2 Monorriel

La utilización de esta tecnología fue sugerida en el estudio de JICA[47]. Aquí se analizaba la posibilidad de utilizar un monorriel para el transporte masivo de pasajeros en alguna de estas tres rutas: San Isidro-Transístmica-Albrook, San Isidro-Transístmica-Vía España-Albrook y Puente de Pedregal-Vía España-Albrook (véase figura 3.2 y el cuadro 3.6). En estos casos se estimó la capacidad del tren en 730 pasajeros.

Este estudio define la capacidad de cada carro, entiéndase vagón, como el total del número de asientos y la capacidad de puestos de pie o estando parado[47]. El estándar normal de la capacidad estando de pie se calcula como 3 pasajeros por metro cuadrado de espacio en el piso del vagón, de los cuales en Japón se excluyeron 250 mm de ambos lados de las paredes interiores del vehículo monorriel. El estudio menciona que el cálculo japonés de la capacidad permite tasa sobreestimadas, tales como 10 pasajeros por metro cuadrado e indica que en el estudio presentado se usó 10 pasajeros. Sin embargo, aquí los autores de este informe hacemos una crítica, ya que el estándar internacional define como máxima tasa de ocupación en situaciones críticas incluyendo la gente sentada y de pie la tasa de 6 pasajeros por metro cuadrado Zamorano *et al*, [48], González y Fuentes[40]. En conclusión, utilizar una tasa de ocupación de 10 pasajeros por metro cuadrado, no solamente resulta antiergonómica, sino que puede producir resultados poco realistas frente a las condiciones antropométricas del panameño promedio.

Alternativa	A		B		C	
Detalle de ruta	Albrook- 5 de mayo- (transistmica)- San Isidro		Albrook- 5 de mayo- Vía España- Transistmica- San Isidro		Albrook- 5 de mayo- Vía España- La concordia	
Número de estaciones	15		15		17	
Longitud de ruta	16.9 km		17.0 km		20.0 km	
Año	2010	2040	2010	2040	2010	2040
Número de pasajeros	15,220	25,620	15316	25,830	15,150	24,010
Máximo PHPDT	9,670	14,030	9,613	13,410	9,210	13,110
Longitud promedio de viaje	10.87 km	10.99 km	10.02km	10,27 km	13,49 km	13,81km
Tarifa de ingreso	7,610	12,810	7,658	12,910	7,580	12,010
Pasajeros-kilómetro	165,340	281,670	153,492	265,150	204,450	326,880
Densidad de transporte	9,780	16,670	9,246	15,970	10,380	16,590

Cuadro 3.9 Alternativas propuestas para el monorriel[49]

Aspecto	Tren	Mc car(*)	M car(*)
Formación	Todo carro eléctrico, 4- : Mc-M-M-Mc (con posibilidad de formar carros de 6 y de 8 unidades)		
Longitud	60,2m	15.5	14.6m
Ancho	2,980 mm		
Altura máxima	5,200mm	5,200mm	5,140mm
Altura sobre riel	3,740mm		
Longitud de pivote a pivote	9,600mm		
Peso	104.5t	26.3t	26.0t
Capacidad normal de pasajeros (3 pasajeros de pie/metro cuadrado)	342 De pie 218, Sentados 124	83 De pie 53, Sentados 30	88 De pie 56, Sentados 32
Método eléctrico	DC 1500 V, positivo(+) negativo(-) método de alambre de catenaria		
Control	VVVF control inversor con frenado regenerativo		
Velocidad máxima de operación	75 km/h		
Aceleración	3.0 km/h/s		
Desaceleración	4.0 km/h/s		
Gradiente máximo	60%		
Radio mínimo de curvatura	60m (lado de la vía 50 m)		

Cuadro 3.10 Características del material rodante[49]

1	Capacidad del TBMTS	730 pasajeros por tren
2	Consumo eléctrico por vagón	12.0 kWh/train-km
3	Consumo eléctrico por instalaciones	Deposito 3,000 kw Estación 200kW Señalización 600 a 800 kW
4	Carga eléctrica	0,09585 B/kWh
5	Costo de mantenimiento de vehículo	0,28 balboa/Car-km (asumido por la experiencia japonesa y convertido)
6	Costo de mantenimiento tracción eléctrica	30,9 balboa/km/day

Cuadro 3.11 Bases de estimación de costos para el monorriel[49]

En cuanto al renglón de estimación de costos (véase cuadro 3.9), podemos resaltar que el costo de mantenimiento de los vehículos debió haber sido mejor detallado, ya que según con respecto a los sistemas de transporte ferroviario, este constituye un componente importante en los costos futuros. Aquí no queda claro el diferencial de dicho componente con respecto a la situación panameña, ni tampoco los costos de capital de reparaciones, capital técnico, compra y adquisición de equipos y piezas para mantenimiento desde la perspectiva del escenario panameño. En el estudio se propone hacer las estimaciones basado en “la experiencia japonesa” y trata de hacer una conversión, sin embargo, esta no queda suficientemente detallada (Ver cuadro 3.11). Según autores como Zamorano et al., [50], el mayor costo de este sistema es el del rail de guiado, que puede llegar a representar un 70% de la inversión total. El sistema de guiado es exclusivo según la tecnología adoptada, lo que genera una dependencia exclusiva del sistema elegido, y también supedita futuros desarrollos a una tecnología específica.

Esta propuesta también se basa en la suposición de que el monorriel compartirá la ruta con los autobuses existentes. Por esta razón aplica un modelo logit para determinar el número de pasajeros que utilizarían el monorriel. Además, se utilizó un método de tasa de crecimiento, en este caso el método de Fratar para estimar el flujo de pasajeros hasta el 2040. Es evidente que la primera premisa resulta equivocada, mientras que la segunda produce resultados con alta incertidumbre, ya que es conocido que la aplicación de proyecciones basadas en tasas de crecimiento, son únicamente confiables a corto plazo. En consecuencia, es de esperar que la capacidad limitada de los vagones provoque la saturación del sistema en pocos años. Una limitación importante de esta propuesta es que el guiado de los carriles en los monorrieles no se puede cruzar y el cambio de vía necesita un gran espacio. Además, el gálibo total del sistema de monorriel es mayor que en otras tecnologías lo que desaconseja su utilización en túneles. Todo ello hace que hasta el momento no se haya construido una red con este tipo de tecnología, siendo todas las implantaciones líneas independiente.

En "Urban Transportation Systems" de Durkam Vuckic una referencia clásica en el área de sistema de transporte que viene siendo editada desde el año 1981, presenta una detallada compendio de las razones para usar este tipo de tecnologías ferroviarias, así como los inconvenientes de estas y unas interesantes conclusiones. Según este reconocido autor, los monorrailes han permanecido como un modo de transporte posible, pero solo en situaciones especiales donde resulte imposible el uso de tecnologías más convencionales, y un servicio de lanzadera o lazo cerrado sea el apropiado. La mayoría de los textos recientes sobre transporte urbano rara vez mencionan los monorrailes. En el mejor de los casos, esto se hace de paso, sin proveer ninguna información técnica o sobre el servicio. Los artículos en los periódicos profesionales han sido raros desde los años 60. Las publicaciones sobre los monocarriles están incluidas en las actas de conferencia de ASCE en automatizado tránsito de la vía guía, tal como Sproule *et. al* (1997). La únicas otras fuentes disponibles son la literatura de los fabricantes, los cuales particularmente no se esfuerzan sobre las limitaciones de sus productos, y la página Web sociedad del monocarril [Monorail Society, 2004], que es muy cuidadosa dando información histórica y técnica, sin embargo, siempre con una fuerte orientación de defensa[46].

Vuchic nos presenta una serie de razones para tener cautela con respecto a las tecnologías monorrailes para sistemas de transporte masivo de pasajeros:

La conexión es incómoda. Para poder cambiar los vehículos rodantes de una línea a otra, las dos secciones enteras a unirse de la viga de apoyo tienen que ser movida para poder lograr esta maniobra, lo cual requiere un tremendo esfuerzo mecánico que es por mucho más complejo que el movimiento usual de los dos carriles delgados del acero con respecto a solo un par de pulgadas en sus respectivos extremos. Como critico los autores consideramos, luego de presenciar un video de esta conexión se podría asemejar a la apertura o cierre de las compuertas de las esclusas de nuestro canal. Este tipo de conexión conlleva costos de mantenimiento superiores a los costos de mantenimiento de las estructuras de las vías en el caso de las tecnologías ferroviarias convencionales como es el caso del metro.

Los monocarriles pueden funcionar solamente en una configuración elevada. Las líneas no se pueden poner sobre la superficie, porque el tráfico cruzado no se puede acomodar en el mismo nivel. En secciones ininterrumpidamente largas, la construcción de la viga en la superficie sería mucho más costosa que poniendo la pista con el ferrocarril estándar. Si se considerara en la colocación subterránea, los túneles tendrían que ser considerablemente más altos que para que carril regular pueda acomodar los mecanismos de apoyo arriba o debajo del vehículo.

Los vehículos de los monorrailes son probablemente más costosos que los vehículos de carril regular. Mientras que los compartimentos de pasajeros pueden ser idénticos a los de cualquier otro vehículo ferroviario de carril, la suspensión o los mecanismos que

montan a horcajadas es más complejos que los bogues o trucos regulares debajo de los vagones de carril estándar. En igualdad de circunstancias, debido a su rareza, cada contrato de la fabricación del monocarril sería una orden especial, con un precio superior. La experiencia en la fabricación y mantenimiento de estos vehículos es ciertamente limitada.

En caso de evacuación por un atascado es un problema. Debido a que la viga o el delgado canal no provee de ninguna calzada, la seguridad de la comodidad de los pasajeros a lo largo de la estructura elevada bajo condiciones de emergencia requerirá arreglos especiales y prolongaciones del andén.

Adicionalmente Vuchic[46] nos presenta una serie de razones para apoyar los monorraíles como tecnologías para el transporte masivo de pasajeros:

Los monocarriles son vehículos no-contaminantes, reservados, seguros, controlables, y pueden ser automatizados. Todas estas características son aproximadamente iguales para cualquier sistema de transporte eléctricamente accionado en una vía guía o con carriles.

Los vehículos no son proclives al descarrilamiento. Es prácticamente imposible que el vehículo deje la viga o canal de conducción, aunque otros problemas mecánicos no sean imposibles. Los monorraíles suspendidos son a prueba del clima ya que son impermeables porque la lluvia y la nieve no se pueden incorporar al canal de la vía guía, es decir, la ranura longitudinal en la parte inferior. (Los fuertes vientos son otra historia.)

Los monocarriles llevan una imagen especial. Los monocarriles se asocian en la mente pública con el adelanto tecnológico y a conceptos visionarios, futuristas. Esto puede ser considerado positivo, posiblemente generando la consideración del público y el apoyo cívico para la puesta en práctica [46].

3.4.3 Metro

De acuerdo con la Enciclopedia en línea Wikipedia[51], se denomina metro (de ferrocarril metropolitano) o subterráneo (de ferrocarril subterráneo) a los «*sistemas ferroviarios de transporte masivo de pasajeros*» que operan en las grandes ciudades para unir diversas zonas de su término municipal y sus alrededores más próximos, con alta capacidad y frecuencia, y separados de otros sistemas de transporte[52]. Estos sistemas operan sobre distintas líneas que componen una red, deteniéndose en estaciones no muy distanciadas entre sí y ubicadas a intervalos generalmente regulares. El servicio es prestado por varias unidades de vagones eléctricos que circulan en una formación sobre rieles. Normalmente

se integran con otros medios de transporte públicos y, a menudo, son operados por las mismas autoridades de transporte público[51].

El metro es un sistema de transporte más rápido y con mayor capacidad que el tranvía o el tren ligero, pero no es tan rápido ni cubre distancias de largo alcance como el tren suburbano o de cercanías. Es indiscutible su capacidad para transportar grandes cantidades de personas en distancias cortas con rapidez, con un uso mínimo del suelo.

Vuchic [46] sostiene que no hay duda que los sistemas ferroviarios de metro son los modos más eficaces disponibles hacer frente al transporte público de grande demandas y servir a las grandes aglomeraciones urbanas.

La utilización de esta tecnología por su elevada inversión y costos de explotación es sólo adecuada para corredores con una demanda importante[48]. El Banco Europeo de Inversiones tiene como uno de sus criterios que una línea de metro se justifica si la demanda anual supera los 25 millones de viajes realizados[48], que es la situación de la ciudad de Panamá. Hoy en día, muchas ciudades construyen este tipo de sistemas para tratar de ofrecer un servicio de alta calidad, que sea capaz de atraer al usuario del vehículo privado y revalorice los centros urbanos permitiendo mantener su competitividad y atractivo para la implantación de actividades comerciales y empresariales que, por el problema de la congestión, tienden a desplazar hacia la periferia.

Modo	Viajes por modos de transporte	
Bus	874,164	50,35%
Bus-empresa	13,194	0,8%
Bus- Taxi	22,370	1.3%
Bus-escolar	96,617	5,6%
Auto	292,411	10.6%
Taxi	83,909	6,3%
Motocicleta	1351	4,8%
Bicicleta	1382	0,1%
Pie	347,073	19,9%
Otro	2,405	0,2%
Total	1,715,122	100%

Cuadro 3.12 Viajes por modos de transporte. Fuente: Banco Mundial, 2007[14]

Recapitulando, como se ha indicado en líneas anteriores el Banco Europeo de inversiones (BEI) tiene como uno de sus criterios que una línea de metro se justifica si se realizan 25 millones de viajes por año. Es decir, siendo conversadores se necesitaría 480,769 de viajes semanales y asumiendo una semana laboral ordinaria de 5 días se necesitarían una demanda de 96,153.84 viajes por día. En el caso del Área Metropolitana de la Ciudad de Panamá, según el estudio de Banco Mundial [14] se realizan 1,715, 122 viajes diarios distribuidos en varios modos de transporte, cifra que supera con ventaja la cifra derivada del estándar criterial del Banco Europeo de inversiones, que presentamos en el cuadro 3.12 como referencia orientativa.

Ahora bien, es importante destacar que parte del éxito de la implantación de un sistema masivo de transporte urbano ferroviario consisten en la movilidad de los usuarios de otros modos de transporte por ejemplo, autobús y auto privado, hacia sistemas de líneas de metro en nuestro caso, razón por la cual los autores de este primer informe de avance presentamos la siguiente tabla de naturaleza conservadora, donde presentamos posibles combinaciones de los viajes que podrían pasar de estos dos modos principales de movilidad urbana hacia el sistema de línea de metro

	Automóvil					
Autobús	50%	40%	30%	20%	10%	0%
50%	583287,5	554046,4	524805,3	466323,1	451702,55	437082
40%	495871,1	466630	437388,9	378906,7	364286,15	349665,6
30%	408454,7	379213,6	349972,5	291490,3	276869,75	262249,2
20%	233621,9	204380,8	175139,7	116657,5	102036,95	87416,4
10%	189913,7	160672,6	131431,5	72949,3	58328,75	43708,2
0%	146205,5	116964,4	87723,3	29241,1	14620,55	0

Cuadro 3.13 Viajes esperados en metro. Fuente: Elaboración propia, 2010.

Por ejemplo, tomando como base las cifras de movilidad de 874,164 y 292,411 viajes realizados en los modos de autobuses y auto privado respectivamente. La celda automóvil 30%-autobús 20% se obtiene una combinación de 175139,7 viajes, cifra bastante superior en comparación con el estándar del criterio calculado de demanda de 96,153.84 viajes por día.

Las particularidades del metro que marcan las diferencias con el resto de los sistemas ferroviarios metropolitanos y con el ferrocarril convencional son:

- Los sistemas urbanos de metro requieren una segregación completa[52] (ya sea a nivel, elevado o subterráneo) Se trata de sistemas de gran capacidad, y tracción eléctrica, cuyo costo solo está justificado para una demanda importante.
- La infraestructura está basada en la infraestructura ferroviaria clásica formada por carriles sobre balastro, aunque actualmente se está imponiendo la utilización de vía en placa[53].

- Los equipos necesarios en la vía incluyen asimismo aquellos del ferrocarril convencional: alimentación eléctrica, señalización y comunicaciones.

- Los

Longitud	18m
----------	-----

equipamientos del sistema incluyen centro de control, cocheras (entiéndase zona de estacionamiento de trenes), talleres de conservación y mantenimiento, almacén y administración.

- Debido a los requerimientos de trazado la inserción en zona urbana consolidada es especialmente difícil. Debe realizarse en subterráneo y a veces a profundidades importantes.
- Algunos parámetros que definen los sistemas de metro son: interestación media: 600-1000 metros, velocidad máxima de 80-90km/h, aceleración: 1 m/s² [52]y alimentación eléctrica entre 600 y 1500 VCC.
- El sistema de rodadura puede ser metálico o neumático[50]. La rodadura metálica es la más extendida, debido a que el costo mayor, mantenimiento y energía no justifican las ventajas en cuanto a mayor capacidad de aceleración y frenado y menor ruido y vibraciones de la capacidad de aceleración y frenado y menor ruido de la rodadura neumática. Sin contar con que existen muy pocos fabricantes de estas tecnologías.
- En la rodadura neumática, debido al límite de carga impuesto por el uso de neumáticos de caucho, el tamaño y por tanto, la capacidad de los coches se reduce[54]. Los valores que pueden adoptarse están en el entorno de 16-17 metros de longitud y 2,60 metros de ancho.
- El material móvil o rodante, es decir, los propios trenes, es un elemento básico del sistema y los desarrollos tienden a aligerar su peso sin reducir su resistencia (empleo de aluminio y prototipos con materiales compuestos para reducir el consumo de energía, concentrar los equipamientos (para reducir el consumo de energía), concentrar los equipamientos (para reducir el costos de mantenimiento y ofrecer un espacio más diáfano) y aumentar la capacidad de aceleración y frenado (para ofrecer una mayor velocidad comercial) por supuesto actuando sobre todos los componentes para mejorar su productividad.

El sistema de líneas de metro presenta la ventaja, a diferencia del monorraíl, de que existen diferentes suministradores, tanto para su fabricación como para el posterior mantenimiento, que pudiera ser realizado por fabricantes distintos del suministrador original. El proyecto de la Secretaría del metro se ha decantado por un sistema de metro con las siguientes características:

Ancho	2.7m
Capacidad máxima (4 vagones)	700 aprox.
Intervalo entre trenes (mínimo)	3 min. aprox.

Cuadro 3.14 Características del metro propuesto por la Secretaría del Metro de Panamá[55]

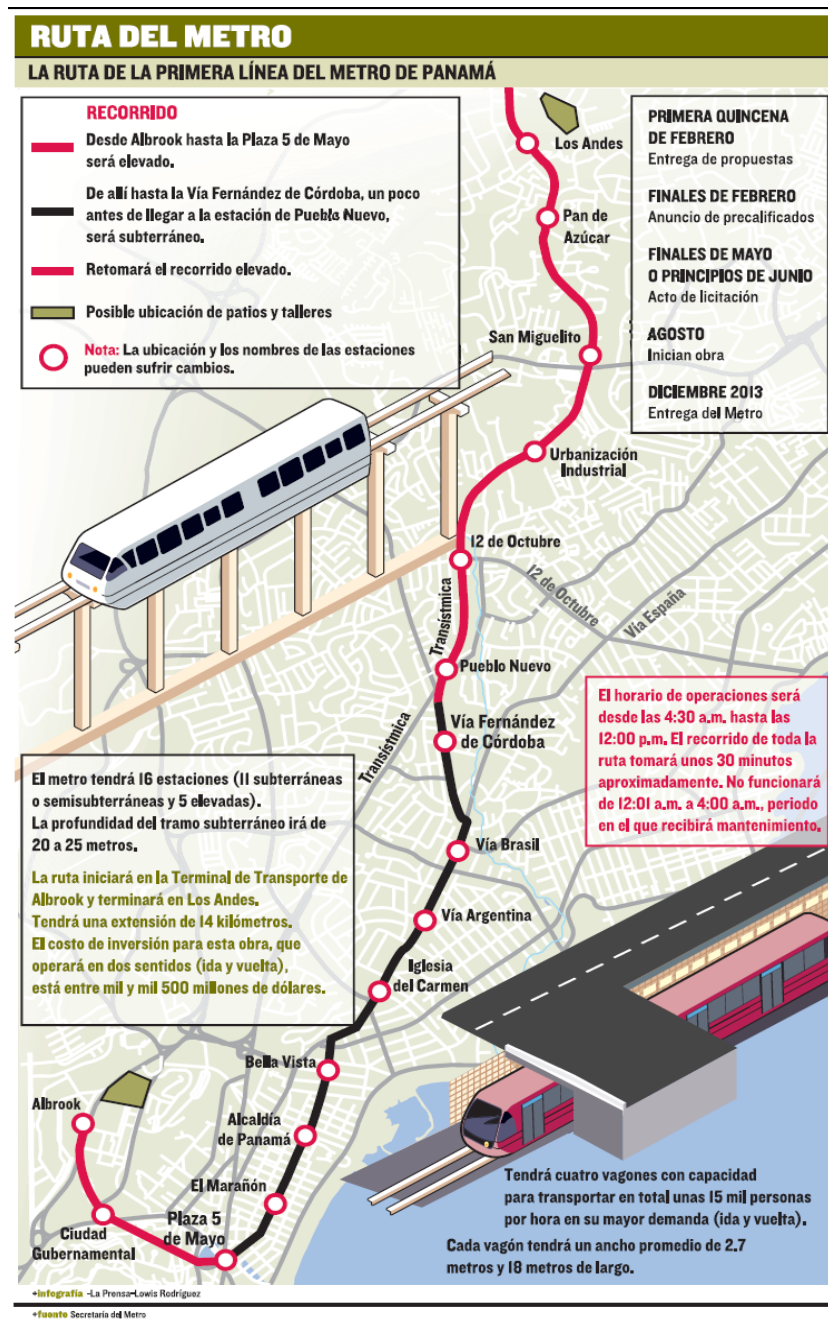


Figura 3.5 Ruta del Metro. Fuente La Prensa.

Un hecho publicado recientemente, casi al cierre de este primer informe de avance el Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial publicó en Gaceta Oficial No. 26448; el Decreto Ejecutivo del 7 de enero de 2010, que establece y delimita el área del polígono de influencia de la Línea 1 del Metro de Panamá, que se extiende desde la terminal de Albrook hasta el centro comercial Los Andes[56].

Vuchic [46] nos ofrece la siguiente lista de razones para descartarse por la opción ferroviaria de un sistema de líneas de metro: capacidad alta y un bajo uso de espacio, eficiencia para patrones urbanos, evita la congestión superficial, conservación de la eficacia mecánica y de la energía, velocidad y calidad del viaje, calidad ambiental, seguridad y confiabilidad, durabilidad, experiencia de uso comprobado por más de 100 años alrededor del mundo, automatización, imagen cívica.

1. Alta capacidad y un bajo uso de espacio: Las operaciones son compactas, los pasajeros se concentran en los vagones del metro, y ellos se mueven rápidamente en trenes que consisten en muchos carros (vagones), uno tras otro. Ningún otro servicio de transporte ferroviario o terrestre puede transportar a tantos pasajeros en una sola pista o un carril durante una hora o un día. Los elementos básicos de este servicio de transporte se han afinado durante muchos años para alcanzar esta capacidad de funcionamiento sin igual. La Alta densidad de las operaciones además asegura que el uso del espacio urbano superficial -derechos de vía- sean mínimos. En la mayoría de los casos, no se apropia ninguna tierra escasa a nivel de la calle en absoluto, a excepción del acceso a las estaciones o “*bocas del metro*”, que son las entradas y/o salidas a la superficie de la línea de metro.

2. Eficiencia de los patrones urbanos: El metro, otra vez más que cualquier otro modo de transporte, tiene la capacidad de influenciar y dar forma a los usos del suelo y localización de las actividades. Los sistemas de transporte ferroviarios urbanos tiene un efecto estructurador, vertebrador del territorio sobre o bajo el cual actúan.

Una estación de metro es un punto importante del acceso, aumentado la valorización de todas las propiedades alrededor de ella. Este marco la diferencia en el estatus del mercado inmobiliario. Así, el desarrollo se atrae generalmente a la vecindad, y tiende a ser el desarrollo comercial de alta densidad el que mejor se aprovecha de este servicio urbano de transporte ferroviario.

3. Evita la congestión superficial: Debido al completo grado de separación de la infraestructura vial y la exclusividad de los derechos de vía paso, las operaciones del metro permanecen claramente fuera de los congestionamientos en las calles y las carreteras, y los trenes pueden moverse sin obstáculos a través de las usuales restricciones urbanas. El metro tiene una oportunidad razonable para competir con el automóvil privado en términos de tiempo de recorrido, por lo menos durante horas punta dentro de corredores congestionados. Al quitar cargas importantes del sistema vial

superficial y poniéndolas en los canales exclusivos, se produce un efecto material de reducción de la congestión.

4. Eficiencia mecánica y conservación energética: Una rueda de acero rodando sobre un carril de acero requiere muy poca energía para mantener el movimiento, debido a que la fricción se encuentra a nivel mínimo. La eficiencia, sin embargo, no se debe medir contra el peso total, sino realmente contra el número y peso de pasajeros transportados, no por el peso de vehículo en si mismo. Esto significa que un tren de metro vacío no tiene en absoluto ninguna eficiencia en absoluto, y aunque estuviese ligeramente cargado demostraría una degradación de las prestaciones no importa cuán rápido se desarrolló el viaje.

5. Calidad ambiental: Debido a que todas las operaciones del metro utilizan corriente eléctrica, no emiten ninguna contaminación atmosférica. Las líneas de alimentación para el alto voltaje se colocan normalmente bajo el subterráneo. El polvo y las partículas desgastadas del metal se pueden controlar con barrer y la limpieza apropiados de plataformas y de la vía. El ruido, permanece generalmente dentro de límites aceptables a menos que el material rodante este gravemente deteriorado y la vía este mal alineada.

6. Seguridad y confiabilidad: Más que cualquier otro sistema ferroviario, el servicio del metro se mantiene dentro de su propia red exclusiva, sobre la cual mantiene un control total. Esto no significa que las desgracias no pueden ocurrir, pero se reducen al mínimo estas ocasiones, y las operaciones no se ven muy afectadas por las fuerzas externas. La sincronización y la confiabilidad se pueden mantener, y deben ser alcanzables incluso en viejos sistemas. La automatización se introduce cada vez más, de tal modo que reduce las ocasiones para el error humano y aumenta la confiabilidad del control del sistema.

7. Durabilidad: Los sistemas de metro y sus elementos tienen que ser robustos, y son construido generalmente con lo último. Por lo tanto, trenes con un mantenimiento adecuado permanecerán dentro del servicio 30 años y más, y los túneles en el lugar para siempre (salvo catástrofes masivas, tales como el ataque terrorista al World Trade Center en Nueva York).

8. Experiencia comprobada: La experiencia mundial con respecto a sistemas de metro es aproximadamente 100 años. Un sistema nuevo puede ser construido sin esperar a desarrollos o investigaciones y los vagones de los trenes se pueden comprar de los catálogos de los fabricantes.

9. Automatización: Las tecnologías actuales en materia ferroviaria tienden cada vez más hacia la automatización, lo que ha producido una reducción con el paso de las décadas en el personal de mantenimiento y supervisión.

10. Imagen cívica: El metro puede convertirse en una poderosa imagen cívica de la Ciudad, ya que, por ejemplo, las grandes metrópolis del mundo cuentan con este sistema de transporte Madrid, Paris, Nueva York, Londres, Tokio entre otras.

A continuación, igualmente Vuchic [9] nos presenta estas razones para tener precauciones con respecto a este sistema de transporte:

1. Costo de Capital: Los costos para la construcción de una línea de metro están entre 1000 millones y 2000 millones.

2. Costos de mantenimiento y operaciones: Si se utilizará un sistema ferroviario de metro intensivamente las veinticuatro horas del día, los costes laborales de todas las clases y gastos para los materiales y la energía serían muy favorables sobre la base de pasajeros/vía. La productividad, debida a estos altos coeficientes de carga, es muy ventajosa. Si la carga completa de tren ocurre solamente durante horas punta, el presupuesto anual arrojará déficit importante. Esto se ha demostrado repetidamente dentro de la experiencia de la explotación ferroviaria, con las únicas excepciones quizás de Hong Kong y de Singapur. Esos sistemas están en buen uso a lo largo del día y los fines de semana.

3. Período de implementación largo y difícil. Dejando a un lado el período de aprobación, la construcción es un proceso elaborado y lento, extendiéndose durante años. La vida normal a lo largo de la vía se verá afectada, incluso si se utilizan métodos de tunelación profunda y se retiran de forma controlada los escombros. La gestión adecuada de estos procesos es un requisito fundamental; hay demasiados ejemplos de proyectos donde las complejidades han abrumado las habilidades administrativas disponibles.

4. Comodidad y conveniencia para los pasajeros. Se requiere facilidades de acceso para personas con discapacidad y personas de la tercera edad, este conlleva la necesidad de contar con ascensores y escaleras eléctricas con acceso directo a los andenes. Como se tienen espacios confinados se necesita una ventilación apropiada y facilidades contra incendios.

5. Personal de seguridad. La actividad criminal a nivel del subterráneo no es generalmente mayor que en la superficie. Sin embargo, la percepción del peligro personal

de parte del público al abordar aumenta considerablemente. Mucho de este miedo se debe a los espacios confinados, donde la gente puede sentir aprensión por no tener ninguna manera de escape. Adicionalmente mucho de este miedo puede ser fomentado por la atención de los medios de comunicación masiva.

No obstante, se debe utilizar los sistemas de seguridad, en forma de presencia policial, cámaras de video vigilancia dentro de las instalaciones y trenes.

3.4.4 Tren de cercanías

Este sistema es similar al tren de pasajeros normal, solo que está limitado a operar entre las cercanías, de las grandes ciudades y el centro de estas. En muchas ciudades de Estados Unidos y Europa, el tren de cercanías complementa al metro, dirigido a servir a los núcleos de población más alejados para los cuales el servicio de metro resulta inapropiado.

Cada vagón tiene una capacidad variable, pudiendo llegar a un máximo de 250 asientos en arreglos de doble piso. El servicio se presta con miras a que cada pasajero tenga un asiento disponible, evitando llevar pasajeros de pie, a diferencia del metro convencional. La capacidad total de este sistema aproxima los 18,000 pasajeros hora sentido.

El uso de esta alternativa ya fue analizado en el proyecto ESTPUM [2000] y se propone para conectar Chorrera con la Plaza 5 de Mayo utilizando un tren con las siguientes características:

Capacidad (6 vagones)	900
Velocidad Promedio	50Km/h
Intervalo entre trenes	10 minutos

Cuadro 3.15 Características del tren de cercanías propuesto ESTPUM

Esta infraestructura necesitaría un nuevo puente para pasar el canal de Panamá, considerando que requiere una pendiente máxima de 6 grados y que ninguno de los puentes existentes sobre el canal tiene la capacidad de soportar el paso de estos trenes.

Las razones según Vuchic[46] para favorecer un proyecto de sistema de transporte interurbano como el tren de cercanías son:

1. Eficiencia mecánica y conservación energética: Las consideraciones son las mismas que en el caso del metro.

2. Alta velocidad: La velocidad promedio en los trenes de cercanías es mucho mayor que en los otros sistemas de transporte ferroviarios, siendo esta de hasta unos 160 km/h

3. Seguridad y confiabilidad: Las consideraciones son similares a las del caso del metro.

En cuanto a las razones para tener precauciones con respecto a este tipo de proyecto de tren de cercanías son los siguientes:

1. Uso mayor del espacio del suelo: A diferencia del metro los trenes de cercanías usualmente van sobre la superficie, y por lo tanto su estructura vial es semi compartida. Aunque el tren de cercanías tenga derecho de paso, este usualmente debe compartir con otros modos de transporte como automóviles y camiones en intersecciones. Además, se necesita diseñar sistemas para evitar el abordaje de los pasajeros sin el pago de las tasas correspondiente y se deben implementar vallas de protección contra animales, niños solos sin adultos responsables, impacto de automóviles, entre otras cosas.

2. Riesgo de baja calidad ambiental: Este presenta un mayor nivel de contaminación ruido y vibración en comparación con el sistema de línea de metros; lo que usualmente demanda un mayor nivel de mantenimiento del material rodante sobre la vía ferroviaria.

4. Conclusiones y recomendaciones

- La aplicación de proyecciones basados en tasas de crecimiento, son únicamente confiables a corto plazo, por lo tanto, las proyecciones de demanda de pasajeros de algunos de los estudios presentados aquí son muy limitada[57].
- Con el objetivo de bajar los costos del estudio, las matrices de viajes utilizadas en los estudios parecen haberse obtenido con pequeñas muestras y aplicando únicamente técnicas de encuestas por interceptación[57]. Esta metodología, aunque se halla basado en alguna heurística de muestreo multietápica no consideró complementar estos resultados con encuestas domiciliarias, como lo han recomendado otros especialistas [29],[23]. Esto, limita la exactitud esperada de los resultados y en consecuencia aumenta la incertidumbre del modelo utilizado.
- Una alternativa para utilizar estos modelos con alta incertidumbre es aplicar técnicas basadas en lógica borrosa[58]. La utilización de esta técnica de inteligencia artificial ha sido exitosa en múltiples aplicaciones de ingeniería, finanzas, economía y sistemas de transporte.
- El tren ligero al parecer no resulta una tecnología apropiada para el transporte masivo en la ciudad de Panamá, ya que, al contar con una infraestructura vial semicompartida con los automóviles, se pueden presentar limitaciones importantes en los tiempos de viaje, lo que puede degenerar en una saturación del sistema a los pocos años de operación. Adicionalmente recordemos que la primera causa de muerte en nuestra república lo constituyen los accidentes de tránsito, situación que se ve propiciada al compartir la infraestructura vial por múltiples actores vehiculares, razón por la cual el costo del seguro de la línea ferroviaria sería elevado.
- La conexión de la Línea 2 proveniente del este de la ciudad de Panamá con la línea 1 debe hacerse con cuidado ya que puede provocar la saturación del sistema en los límites de la macrozona 2 ó la macrozona 4. Ya que, si bien es cierto, existen algunas soluciones como conectar la vía España con el tramo no servido por la Línea 1 de la Avenida Transistmica utilizando la calle 64 para continuar desde allí hasta la Gran Terminal, la complejidad del problema demanda un estudio a mayor profundidad.
- El tren de cercanías parece ser la mejor alternativa para conectar Chorrera con Albrook. No obstante, el inconveniente del paso del canal debe considerarse, ya que se requería de un puente con características ferroviarias que soporte las cargas dinámicas del flujo de este tipo de transporte masivo[57].
- La ciudad de Panamá requiere una opción ferroviaria para el transporte masivo de pasajeros desde hace varios lustros. Cualquier solución en esta línea, requiere un estudio preciso para evaluar los posibles futuros escenarios. En la mayoría de los estudios, el flujo esperado de pasajeros se basa en estimaciones. Se debe realizar un estudio más actualizado y profundo para estudiar las preferencias de los potenciales usuarios. Hasta ahora, las soluciones propuestas se basan en la hipótesis que la gran mayoría de los pasajeros cambian de autobús a metro. Aquí se requiere un análisis más profundo, ya que, si el costo del pasaje previsto para el metro es muy alto, estos cálculos se verían fuertemente comprometidos.
- 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 con el estado del régimen permanente de explotación. Esta solución es compatible con la tecnología ferroviaria propuesta por la Secretaría del Metro de Panamá.

5. Bibliografía

- [1] Universidad Tecnológica de Panamá, “Metodología e índices de desempeño para sistemas de transporte ferroviario,” *Página web*, 2010. <https://fie.utp.ac.pa/metodologias-e-indices-de-desempeno-para-sistemas-de-transporte-ferroviarios> (accessed Apr. 25, 2021).
- [2] M. J. Cury, J.E. Gomide, F.A.C and Mendes, “A methodology for Generation of Optimal Schedules for an Underground Railway Systems,” *IEEE Trans. Autom. Control. Vol. Ac-25, No.2, April 1980.*, vol. 25, no. 2, 1980.
- [3] S. Araya, S. and Sone, “Traffic Dynamics of Automated Transit Systems with Pre-established Schedules’.,” *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Vol. SMC-14, No.4, July/August 1984.*, vol. 14, no. 4, 1984.
- [4] Y. Sasama, H. and Ohkawa, “Floating traffic control for public transportation systems,” 1983.
- [5] G. Campion, G., Van Breusegem, V., Pinson, P. and Bastin, “Traffic Regulation of an underground railway transportation system by state feedback.,” *Optim. Control Appl. Methods, Vol. 6, 385-402. 1985.*, vol. 6, no. 385–402, 1985.
- [6] G. Van Breusegem, V., Campion, G. and Bastin, “Traffic Modeling and State Feedback Control for Metro Lines.,” *IEEE Trans. Autom. Control. Vol. 36, No.7, July, 1991.*, vol. 36, no. 7, 1991.
- [7] A. Berbey-Alvarez, “Planificación en tiempo real de tráfico ferroviario. Tesis doctoral.,” Universidad Politécnica de Madrid, 2008.
- [8] Berbey et al., “Lyapunov based stability analysis for metro lines,” 2008.
- [9] Vukan R. Vuchic., *Urban Transportation Systems*. 2005.
- [10] Universidad Tecnológica de Panamá. Facultad de Ingeniería eléctrica., “Página de inicio. Proyecto I+ D ‘Metodologías e índices de desempeño para sistemas de transporte ferroviario,” *Página web*, 2010. <https://fie.utp.ac.pa/inicio-0> (accessed Apr. 25, 2021).
- [11] Bergmann, “Generalized expressions for the minimum time interval between consecutive arrivals at an idealized railway station.,” *Transpn Res. Vol 6, pp.327-341. Pergamon Press 1972.*, vol. 6, pp. 327–341, 1972.
- [12] P. Barber, F., Salido, M.A., Ingotlotti, L., Abril, M., Lova, A. y Tormos, “An interactive train scheduling tool for solving and plotting running maps.,” *Curr. Top. Artif. Intell. 10th Conf. Spanish Assoc. Artif. Intell. CAEPIA 2003, 5th Conf. Technol. Transf. TTIA 2003, San Sebastian, Spain, Novemb. 12-14*, vol. 3040, pp. 646–655, 2004, doi: 10.1007/978-3-540-25945-9_64.
- [13] BCEOM-Systra, “ESTPUM: Estudio de factibilidad de un sistema de transporte masivo en el área metropolitana de la ciudad de Panamá. 2000.,” Panamá, Republica de Panamá, 2000.
- [14] 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.,” Panama, Republica de Panamá, 2007.
- [15] R. Gonzalez-Jimenez, “Proponen sistema de monorriel,” *Periodico La Prensa*, 2008. Proponen sistema de monorriel (accessed Oct. 20, 2009).
- [16] Proyecto Mesoamerica, “INFORME DE MONITOREO DE NOTICIAS Proyecto de

- integración y desarrollo. Mesoamerica. Dirección Ejecutiva Proyecto Mesoamerica. Oficina de Comunicación Institucional. 2008.,” 2008.
- [17] D. Solis, “Análisis computarizado del sistema de transporte urbano de la Ciudad de Panamá,” Panamá, Republica de Panamá., 2008.
- [18] La Prensa, “Tren ligero en Panamá,” *Periodico La Prensa*, Panama, Republica de Panamá., Nov. 17, 2001.
- [19] R. Gonzalez-Jimenez, “BID financiará estudio para impulsar un ferrocarril regional,” *Periodico La Prensa*, Panamá, Republica de Panamá., 2008.
- [20] Fundación de los ferrocarriles españoles, “El Banco Interamericano de Desarrollo financiará un estudio de reactivación del ferrocarril en Centroamérica,” *Via libre*, 2008. <https://www.vialibre-ffe.com/noticias.asp?not=2694>.
- [21] R. J. Bermúdez, *Ricardo J. Bermúdez en la cultura arquitectónica y literaria de Panamá. Compilación, clasificación y prólogo de Samuel A. Gutiérrez Tomo I.*, Primera. Panamá, República de Panamá.: La Prensa. Panamá. 1996., 1996.
- [22] R. . Bermudez, “La ciudad de Panamá y los fundamentos de su planificación futura,” 1948.
- [23] Ortúzar y Willumsen, *Modelos de Transporte*. Santander, España: PubliCan, 2008.
- [24] M. Bruton, *Introduction to Transportation Planning*, Edition 3. Hutchinson, 1985.
- [25] M. E. Smith, “Design of small smaple home interview travel surveys,” *Transp. Res. Rec.*, vol. 701, pp. 29–35, 1979.
- [26] Banco Mundial, “Encuesta de Niveles de Vida 2008,” *Minsterio de Economía y Finanzas*, 2008. <https://microdata.worldbank.org/index.php/catalog/70>.
- [27] B. Mundial, “Elementos para una política integral,” 2006. <http://documents1.worldbank.org/curated/pt/116921468147309739/text/709970ESW0SPANISH0P10668300PUBLIC0.txt>.
- [28] R. . Bermudez, “Los autobuses vacios,” *Periodico La Prensa. Notas de pasar y ver.*, Panamá, Republica de Panamá., Aug. 02, 1966.
- [29] joan m. bigas y julián sastre. Clara zamorano, *Manual para la planificación, financiación e implantación de sistemas de transporte urbano*. 2004.
- [30] L. Nippon Koei Co., “Pre feasibility study on the development of mass transit system of Panama City. Final Report.,” Panamá- Japón, 2008. [Online]. Available: Pre feasibility study on the development of mass transit system of Panama City. Final Report. March 2008.Ministry of Economy, Trade and industry Nippon Koei Co., LTD.
- [31] R. I. Conseils., “Asistencia tecnica para la adminsitracion y planfiicacion del tranporte urbano 1996-1999.,” Panama, Republica de Panamá, 1999.
- [32] Jesualda Lopez de Sanchez(Entrevistada por Rosa Coronado), “El tranque nuestro de cada día,” *Periódico La Prensaaico La Prensa*, Panamá, Republica de Panamá., Jun. 25, 1993.
- [33] M. T. A. Z. M. Aymerich, J. Colomer, A. Ibeas, R. Izquierdo, J.M. Menéndez, A.Monzón, F. Robusté, *Transportes. Un enfoque integral. Tomo I. Transporte y Economía del Transporte*. 2001.
- [34] INECO., “Estudio de posibilidades de la implantación de un sistema de metro ligero/tranvía en la Ciudad de Panamá.,” Panama, Republica de Panamá.Mayo 1999., 1999.
- [35] R. . Bermudez, “Ordenamientos intransferibles,” *Periodico La Prensa. Notas de ver y pasar.*, Panamá, Republica de Panamá., Mar. 15, 1996.
- [36] R. . Bermudez, “La agonía del transito vehicular,” *Periodico La Prensa*, Panamá, Republica de Panamá., Aug. 1993.
- [37] R. . Bermudez, “Apuntes sobre el tránsito vehicular,” *Periodico La Prensa.*,

- Panamá, República de Panamá., p. 23A, Jun. 23, 1994.
- [38] Vuchic, *UrbanPublic Transportation*. 1981.
- [39] M. Melis y F. Gonzalez, *Ferrocarriles Metropolitanos. Tranvías, metros ligeros y metros convencionales (2ª edición, ampliada y revisada)*. 2008.
- [40] J. F. L. F.J. González Fernández, *Ingeniería Ferroviaria. Unidad Didáctica*. 2008.
- [41] V. Van VanBreusegem, G. Campion, and G. Bastin., “Traffic Modeling and State Feedback control for Metro lines.,” *IEEE Trans. Autom. Control. vol 36, No. 7, July, 1991.*, vol. 36, no. 7, 1991.
- [42] G. Campion, G., Van Breusegem, V., Pinson, P. y Bastin, “Traffic regulation of an underground railway transportation system by state feedback.,” *Optim. Control Appl. Methods, Vol. 6, 385-402. 1985*, vol. 6, pp. 385–402, 1985.
- [43] J. C. F. de Cuadra, Fernández, A. and Granados, “‘Train simulation and headway calculations an approach based on parameterized continuous curves.’ Instituto de Investigación Tecnológica (IIT-UPCO) 1994. DIMETRONICS S.A. Madrid, España.,” 1994.
- [44] C. Bonnett, *Practical Railway Engineering*. London, UK: Imperial college Press, 1996.
- [45] Ministerio de vivienda, “Plan de Desarrollo Urbano de las Áreas Metropolitanas del Pacífico y del Atlántico,” Panamá, República de Panamá., 1997. [Online]. Available: <https://www.miviot.gob.pa/urbanismo/4URBANISMO/urbanismo/volumen2b/indicella.html>.
- [46] D. Vuchic, *Urban Transportation Systems. Choices for communities*. 2004.
- [47] Nippon_Koei, “Pre-feasibility study on the development of mass transit system of Panama City.Final Report.,” Panama, Republica de Panamá, 2008.
- [48] C. Zamorano, J. M. Bigas, and J. Sastre, *Manual de tranvías, metros ligeros y sistemas en plataforma reservada. Diseño, proyecto, financiación e implementación*. 2006.
- [49] L. Nippon Koei CO., “Pre feasibility study on the development of mass transit systems in Panama City. Final report. JICA. March 2008.,” *JICA*, 2008. .
- [50] J. S. C. Zamorano, J M. Bigas, *Manual de tranvías, metros ligeros y sistemas de plataforma reservada*. Madrid, 2006.
- [51] Wikipedia, “Metro,” *Wikipedia*, 2009. .
- [52] ATUC-IDAE-Steer Davies Gleave, “Gestión eficiente del transporte colectivo. Guía técnica.” Madrid, España, p. 293, 2009, [Online]. Available: <https://www.movilidad-idae.com/sites/default/files/2019-06/1.-GuiaTecnica-SteerDaviesGleave.pdf>.
- [53] M. Melis y F. Gonzalez, *Ferrocarriles Metropolitanos. Tranvías, metros ligeros y metros convencionales (3ª edición, ampliada, revisada y con nuevos y actualizados contenidos academicos)*, Tercera ed. Madrid, Esp: Coleccion de ingenieros de caminos, canales y puertos. Colección señor 29., 2008.
- [54] H.- Barras, “Estudio del comportamiento dinámico de la banda de rodadura de un neumático.” Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, España, p. 141, 2010, [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/30043692.pdf>.
- [55] Secretaria del Metro de Panamá, “Especificaciones funcionales, técnicas y contractuales. Tomo II Equipamientos. II. O Normas generales II.0.1 Ingeniería conceptual de la operación. Marzo 2010.,” 2010.
- [56] I. Rodriguez, “Recorren ruta del Metro,” *Periodico La Prensa*, 2010. https://www.prensa.com/politica/Recorren-ruta-Metro_0_2752224764.html.
- [57] Berbey-Alvarez et al., “Metodología e índices de desempeño para sistemas de transporte ferroviario. Primera etapa.,” in *Congreso Nacional del Ciencia y Tecnología*, 2010, p. 420, [Online]. Available:

http://www.apanac.org.pa/sites/default/files/Libro XIII CONGRESO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA_Final.pdf.

- [58] Caballero-George et al., “Un enfoque inferencial de lógica borrosa para la estimación de la demanda del flujo de pasajeros,” in *XIII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología*, 2010, p. 420, [Online]. Available: http://www.apanac.org.pa/sites/default/files/Libro XIII CONGRESO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA_Final.pdf.