

PERSPECTIVA DE LAS EXTERNALIDADES SOCIO ECONÓMICAS DE LA LÍNEA 1 DEL METRO DE PANAMÁ EN LA PRODUCTIVIDAD URBANA

Perspectives of Socio-economic externalities of the Panama Metro Line 1 in Urban Productivity

ARÁNZAZU BERBEY-ÁLVAREZ^{1 2}, JESSICA GUEVARA-CEDEÑO^{1 2}, GEMA CASTILLO¹,
HUMBERTO ÁLVAREZ^{1 2}, ISABEL DE LA TORRE DIEZ^{3 4}

Resumen

En este trabajo de investigación se analizan algunas de las externalidades de corte económico generadas por la Línea 1 del Metro en la Ciudad de Panamá. La congestión vehicular de las urbes produce pérdidas anuales en millones de dólares, afectando sensitivamente la productividad. Los beneficios sociales de los sistemas masivos de transporte público producen un impacto positivo en la dinámica de las áreas metropolitanas. En este trabajo se presentan resultados relativos al ahorro de tiempos de viajes y su utilidad económica, bajo varios escenarios proyectados y comparado con los datos reales de movilización de pasajeros del primer metro de toda Centroamérica, es decir, el metro de Panamá.

Palabras clave: Metro de Panamá, externalidades, movilidad urbana.

Abstract

This research analyses some economic externalities generated by the Metro Line 1 in Panama City. Vehicle congestions in cities produce annual losses of millions of dollars, affecting productivity sensitively. The social benefits of mass transit systems have a positive impact on the dynamics of metropolitan areas. This paper presents results related to the saving of travel times and their economic utility, under various projected scenarios and compared with actual data of passenger mobilization of the first Metro Line in the

¹ Universidad Tecnológica de Panamá, (Panamá), aranzazu.berbey@utp.ac.pa, jessica.guevara@utp.ac.pa, gema.castillo@utp.ac.pa, Humberto.alvarez@utp.ac.pa

² Panama Railway Engineering Research Group.

³ Universidad de Valladolid (España), isator@yllera.tel.uva.es

⁴ Grupo de Telemedicina y eSalud. Universidad de Valladolid (España).

Central American Region.

Key words: Panama metro, externalities, urban mobility.

1. Introducción

El análisis de las externalidades que aquí se propone proviene del concepto de desarrollo urbano sostenible y de los costos sociales que conlleva la implementación y operación de proyectos de gran impacto a la sociedad. Esta investigación también incorpora importantes conceptos desarrollados en trabajos sobre proyectos urbanos principalmente los que contienen temas de externalidades urbanas. El estudio de la CEPAL 2009 (Jodan et al., 2009), sobre externalidades de proyectos de infraestructura urbana considera que estas se deben estudiar en tres ejes de trabajo: a) además de identificar y valorizar, se debe tener en consideración las interacciones entre las distintas externalidades; b) análisis transversal de las relaciones entre estas externalidades y las formas de ocupación urbana y regional; y c) focalización realista en aquellas “segundas mejores políticas”. Basado en estos ejes de trabajo, el enfoque que contiene el presente estudio va directamente a la observación sistemática y valorización de las externalidades positivas desde el punto de vista social y económico para la sociedad panameña.

De acuerdo a Seyfi Top et al. (Seyfi Top et al., 2011), las externalidades pueden ser definidas como situaciones en las cuales un agente puede ser afectado directamente por las decisiones de producción o consumo de otro. En general, las externalidades en redes ocurren cuando el último consumidor aumenta la utilidad de todos los consumidores de la red. Este tipo de externalidad se considera una externalidad positiva. Por otro lado, cuando la capacidad de la red es limitada, el último consumidor disminuye la utilidad de todos en la red, lo que crea una externalidad negativa.

2. Descripción de la línea 1 del Metro de Panamá

De acuerdo a la Secretaría del Metro de Panamá (SMP, 2010), y al Metro de Panamá (MP, 2017) la Línea 1 del Metro de Panamá tiene un trazo mayoritariamente en dirección norte-sur y une la Estación Terminal Nacional de Autobuses, en “Albrook” en el sur de la Ciudad de Panamá, con la Estación de San Isidro en el norte del Área Metropolitana y contaba con una longitud original de aproximadamente 13.7 kilómetros, de los cuales 7,2 kilómetros eran subterráneos y 6,5 km en viaducto. Esta ruta está inserta en un corredor de alta demanda de transporte público. Con la construcción de la segunda fase de la

línea 1 hasta la estación de San Isidro, su longitud aumento a 15, 8 km, tal y como se muestra en la figura 1. La línea 1 del Metro de Panamá cuenta con 2 estaciones terminales, 2 de transferencia con otros medios de transporte y para líneas futuras, 9 estaciones son de paso, con longitud de andén de hasta 110 Metros, dependiendo de las características y conformación final de trenes. Una instalación de Patios y Talleres, en el extremo de la Línea en el sector de Albrook, desarrollada en un área aproximada de 10 hectáreas. En esta misma área está ubicado el Centro de Control de Operaciones (CCO). Su modalidad de operación es altamente automatizada, con sistema de detección y seguimiento a través de tecnología de punta.

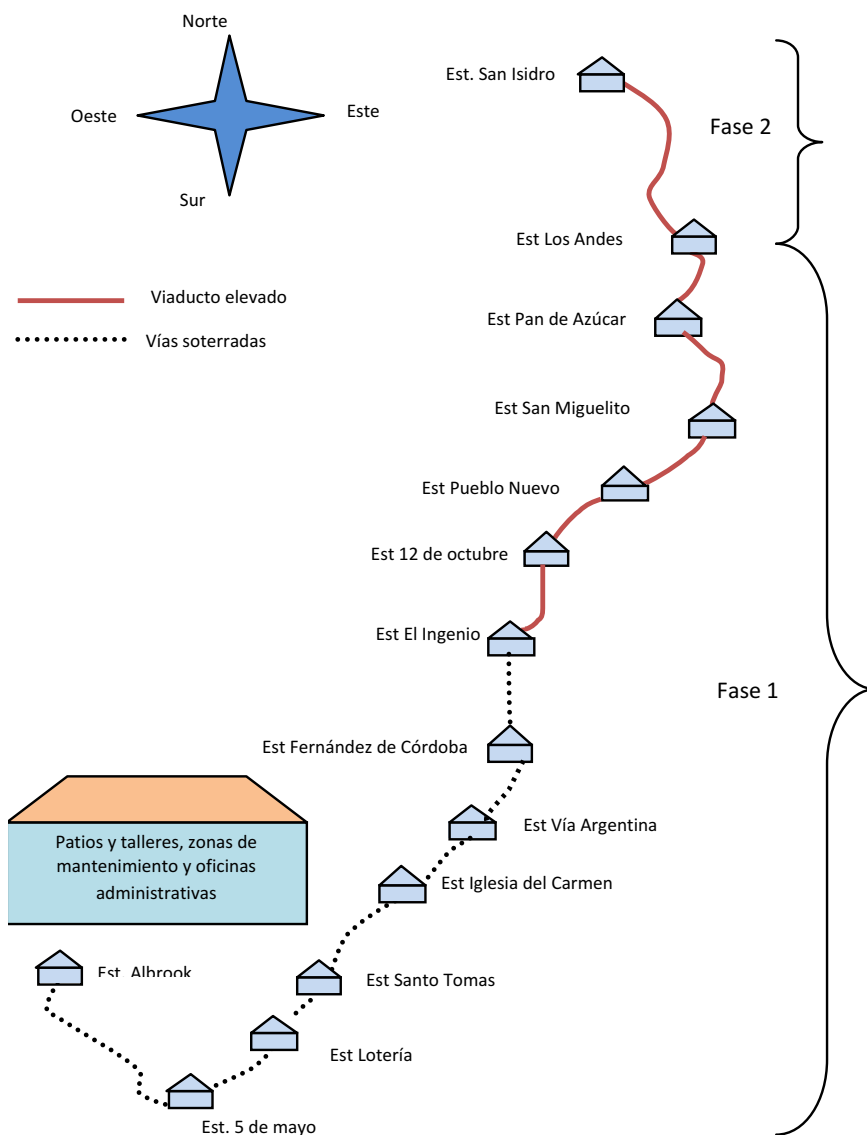


Figura 1. Esquema de la línea 1 del Metro de Panamá.
Fuente A. Berbey-Alvarez.

El Metro de Panamá es un sistema de transporte masivo de pasajero en plataforma reservada (Zamorano et al., 2006), en vía doble de conducción por a la derecha (SMP, 2010), su velocidad comercial es de 38 km/h (SMP, 2010), alcanzado el material rodante valores de conducción superiores a 60km/h (Berbey et al., 2015; Berbey et al., 2014a; Berbey et al., 2014b; Berbey et al., 2014c) entre estaciones. El material rodante tiene una velocidad máxima de 80 km/h (SMP, 2011).

En cuanto a la capacidad de la Línea 1 del Metro de Panamá, esta fue diseñada originalmente para manejar hasta 15.000 personas por hora sentido en su inicio. Las autoridades del Metro de Panamá estiman que dicha demanda crecerá hasta 40.000 personas por hora sentido en el año 2035.

De acuerdo al Metro de Panamá (MP, 2017), la línea 1 del Metro de Panamá produce un ambiente amigable al utilizar electricidad como fuente de energía no emite gases contaminantes, por lo que no afecta las condiciones ambientales de la ciudad. En este sentido autores como González et al. (2007) y Zamorano et al. (2006), entre otros mencionan que en los casos de tranvías modernos, metros ligeros, metros pesados, u otros sistemas de transporte guiado por catenaria, la elección de vehículo no tiene efectos medio ambientales, ya que se trata de un sistema de tracción eléctrica, sin emisión de humos y bastante silencioso dentro del contexto de tráfico. Si la producción de energía eléctrica se basa en fuentes sostenibles (hidráulicas, eólica, solar...), las emisiones serán completamente nulas.

El transporte urbano ferroviario masivo de pasajeros resulta confortable, seguro, rápido ya que cuenta con sistemas de control automáticos que impide la colisión entre trenes, sistema de vigilancia y seguridad (MP, 2017; Melis, 2008; Vuchic, 1981; Fernández, 2008 y Aymerich, 2001).

De acuerdo a diferentes medios de comunicación de Panamá (*Telemetro*, 2014; *La Estrella de Panamá*, 2015; *La Estrella de Panamá*, 2016; *El Panamá América*, 2013; *Metro de Panama-Wikipedia*, 2017), el proyecto del Metro de Panamá que fue inaugurado en abril del 2014, tiene el objetivo de transformar el esquema tradicional de transporte promoviendo la utilización de un sistema moderno con las mismas características de las grandes ciudades del mundo, por lo que resulta importante valorar las externalidades derivadas de esta obra de infraestructura que moderniza y amplía el circuito de movilidad de pasajeros en la ciudad de Panamá.

Así, se tienen externalidades como la reducción del tiempo y costo de transporte de los usuarios, así como otras externalidades se han logrado, como mejoras de espacio pú-

blico alrededor de las estaciones de la línea 1 del metro de Panamá mediante el desarrollo de facilidades peatonales y mejoras en las áreas para encuentros (MP, 2017).

3. Metodología general

Dentro del grupo de investigación *Panama Railway Engineering Research Group* de la Universidad Tecnológica de Panamá se desarrolló la metodología para estimar una externalidad dentro un escenario con su periodo o correspondientes años de estudio y mostrada en la figura 2. Los aspectos más relevantes de dicha metodología son la recopilación sistemática de información estadística de datos relevantes sobre los sistemas de metro. Además de identificar datos y variables de análisis, en los resultados que se han obtenido en estudios previos realizados al proyecto del metro de Panamá y de aplicaciones desarrolladas en otros países para ser utilizados en el análisis de la información que se implementa en esta investigación. Posteriormente se analizan el conjunto de características relevantes del escenario, de acuerdo a cada modo de transporte, analizando sus variables más sobresalientes (demanda, tiempo, espacio, combustible, capacidad, nivel de ruido). Para cada una de las variables se examinan sus características asociadas. A partir de allí se utilizan métodos cuantitativos para determinar el valor de las externalidades para cada uno de los modos de transporte.

En la tabla 1 se aprecia una valorización cualitativa de las externalidades de la Línea 1 del Metro de Panamá por categoría económica, ambiental y social.

A continuación, en este trabajo de investigación se presentan de forma cuantitativa solo los resultados obtenidos para la externalidad de orden socio económico relativa el ahorro económico que produce la reducción del tiempo de viaje de los pasajeros a través de la línea 1 del Metro de Panamá. También para enriquecer este estudio se utilizan análisis de naturaleza cualitativa de manera complementaria a los resultados obtenidos de naturaleza cuantitativa.

En resumen durante esta investigación se ha desarrollado un esquema metodológico plasmado en la figura 2, donde se requiere de definir las condiciones de estudio, caracterización del escenario, se identifican métodos cuantitativos, analíticos y cualitativos. Estos métodos nos permiten identificar, estimar y obtener información relevante de las externalidades, las cuales podemos documentar basándonos en esta metodología.

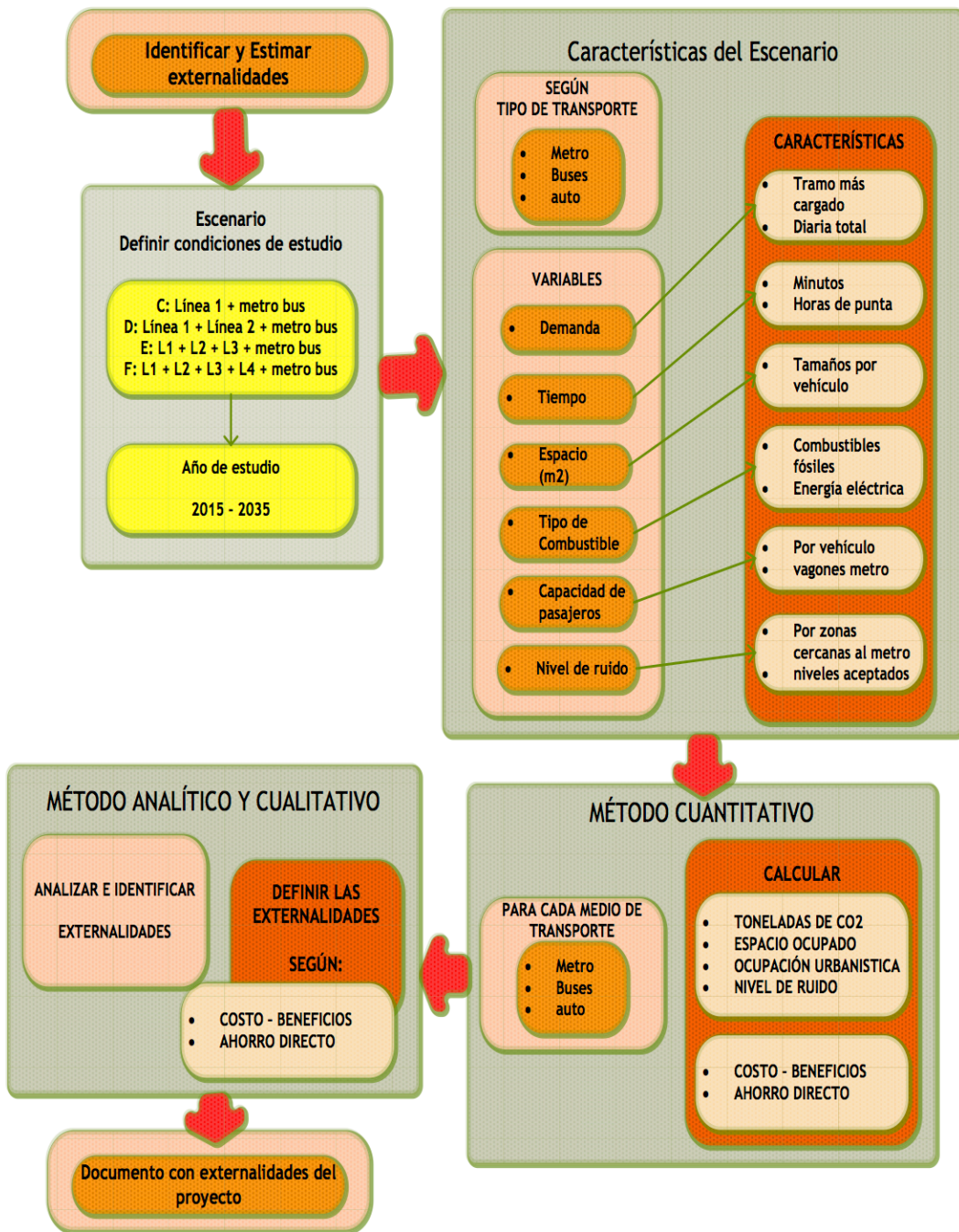


Figura 2. Esquema metodológico desarrollado por J. Guevara-Cedeño (2013).

Tabla 1. Valorización de externalidades positivas del proyecto de la línea 1 del metro de Panamá.
Fuente: Guevara J., 2013. Actualización: A. Berbey-Álvarez, 2017.

Externalidades		
Económica	Ambiental	Social
Aumento de la plusvalía en el entorno urbano del Metro de Panamá	Reducción de los niveles de congestión vehicular.	Mejoramiento en las condiciones ambientales de salud pública de los ciudadanos (resfriados, estrés, enfermedades pulmonares, etc.).
Disminución de los tiempos de Viajes del Metro (SMP, 2010)(MP, 2015)(MP, 2017)(Berbey et al, 2014)(Berbey et al, 2015)	Mejoramiento de las condiciones de ruido en áreas cercanas al metro de Panamá.	Mejoramiento en la seguridad de los traslados (menor riesgo de accidentes, menor posibilidad de robos)
Mayor y mejor accesibilidad a zonas de fuerte actividad económica.	Disminución de la contaminación atmosférica	Calidad de servicio en el transporte público prestado.
Aumento del empleo como resultado de la construcción, operación y mantenimiento del Metro de Panamá.	Descarbonización de la matriz energética del Estado Panameño	En el turismo
Aumento de productividad económica en los entornos del Metro de Panamá	Reducción de la contaminación visual por exceso de vehículos rodantes	Mejoramiento en la calidad de vida de la familia, más tiempo para compartir en familia.
Atracción turística en áreas de cercanías al metro de Panamá.	Mayor independencia de combustibles fósiles	Mejoramiento en la calidad del espacio público debido a la calidad de la imagen arquitectónica y la modernidad del metro.
Aumento de la fuerza laboral calificada relativa a funciones especializadas en tópicos de ingeniería ferroviaria mediante desarrollo de prácticas profesionales (Rivera,2015), tesis de licenciatura, pósteres científicos presentados en congresos(Berbey et al, 2012) (Alvarado et al., 2016), proyectos de investigación(SENACYT, 2009)		Mejoramiento en el espacio público del entorno del metro de Panamá
Aumento del entrenamientos en cursos ferroviarios asociados a tópicos sobre mecánica de la vía, electrificación, diseño geométrico , operaciones horarios, control de trenes y seguridad en las universidades nacionales. (UTP, 2010) (UTP, 2014)(UTP, 2015)		Mayor y mejor acceso a áreas con actividades culturales y deportivas.
Las posibilidades del transporte eléctrico ya sea colectivo (Metro o trenes) e individual (carros eléctricos), tendrán influencia en las importaciones futuras de petróleo y, paralelamente, y complementariamente en la generación de electricidad. (SNE,2015)		Aparición y aumento de publicaciones científicas en áreas relacionadas con la ingeniería y transporte ferroviario (Berbey et al, 2014) (Berbey et al.,(a) 2015)(Berbey et al.(b), 2015).

4. Externalidades económicas

Para cuantificar las distintas externalidades es necesario identificar los escenarios de demanda que se tendrían utilizando los diversos tipos de transporte de pasajeros, para comparar los beneficios de cada tipo. En la tabla 2 se muestran los datos de demanda utilizados en esta investigación basándonos en estudios previos del proyecto de la línea 1 del metro de Panamá.

Tabla 2. Escenarios según demanda dentro de un día.

Escenario C	2015 C	2020C	2025C	2030C	2035C
<i>Demanda Total</i>	34,491	40,312	45,306	50,088	56,625
<i>Tramos más cargado</i>	18862	22370	23929	25375	27077
<i>Demanda diaria total</i>	230000	269000	302000	334000	378000

Fuente: Elaboración propia a partir del Estudio de demanda para la línea 1 del sistema de transporte masivo de la ciudad de Panamá. Informe final. Secretaria del Metro de Panamá. República de Panamá 2010 [SMP 2010]. El escenario C corresponde al escenario de la línea 1 del metro de Panamá mas el sistema de autobuses metro bus, ambos en operación.

De acuerdo a una estimación del Banco Mundial (Banco Mundial, 2007); en términos de costos de movilización total en la ciudad de Panamá, se estiman totales de B./500 millones al año, de los cuales el 15% corresponden al transporte colectivos y 85% a los vehículos particulares, a pesar de que tan solo el 15.6 % de los viajes se realizan en automóvil o taxi. Adicionalmente, las demoras por la congestión vehicular en la ciudad de Panama tenían un costo estimado de b./300 millones al año en improductividad, equivalente al 2.2% del PIB nominal del año 2004 para la República de Panamá. Para establecer un primer cálculo conservador preliminar del ahorro económico del tiempo de los panameños con el beneficio de la línea 1 del metro de Panamá tenemos lo siguiente:

$$Ah_{\text{econ}_o\text{salariomin}} = (Tvsm - Tvcm)(\text{Salario}_{\text{min}})(\text{Demanda}_{\text{pasajeros}}) \quad (1)$$

$$Ah_{\text{econ}_o\text{extracto}} = (Tvsm - Tvcm)(\text{Salario}_{\text{prom}_{\text{extracto}}})(\text{Demanda}_{\text{pasajero}_{\text{extracto}}}) \quad (2)$$

$$VF = VP(1 + i)^n \quad (3)$$

Donde,

Tvsm: Tiempo de viaje sin metro.

Tvcm: Tiempo de viaje con metro. El tiempo de viaje original de la línea 1 del Metro de Panamá correspondía a 23 minutos (SMP, 2010) (SMP, 2014) con la extensión adicional de la Estación de los Andes hasta la Estación de San Isidro el tiempo aumento a 26 minutos (MP, 2016).

Salario_min: Salario mínimo por hora (\$3.48/hora). Cálculo a partir del 613 dólares/mes (22 días laborables/mes, 8 horas/día).

Salario_prom_extracto: Salario promedio por hora, o por minuto de acuerdo al extracto social.

Demanda_pasajeros: Demanda de pasajeros de la línea 1 del Metro de Panamá.

Demanda_pasajeros_extracto: Demanda estimada por extracto de la línea 1 del metro de Panamá.

VF: Valor futuro.

VP: Valor presente.

I: índice de precios al consumidor (3%).

n: número de años.

Tabla 3. Escenarios de los tiempos de viaje de la Macrozona norte a la macrozona Sur de la Ciudad de Panamá. Los Andes- Albrook

Tiempo de viaje (escenario C)	2015	2020	2025	2030	2035
Tvsm (plataforma compartida) minutos	80	87	88	89	95
Tvcm (plataforma reservada) minutos	23	26	26	26	26
Ahorro de tiempo_Ah (minutos)	57	61	62	63	69

Fuente: Elaboración propia a partir del Estudio de demanda para la línea 1 del sistema de transporte masivo de la ciudad de Panamá. Informe final. Secretaria del Metro de Panamá. República de Panamá 2010 [SMP 2010].

A continuación en la tabla 4, se aprecia el desarrollo de la externalidad económica anual relativa al ahorro monetario que producen los viajes anuales en la línea 1 del Metro de Panamá en el marco de un escenario de salario mínimo para cada uno de los horizontes de planificación estimados (2015 C, 2020C, 2025 C, 2030C, 2035C). Por ejemplo, para el año 2015, la demanda diaria estimada por las autoridades de la Secretaria del Me-

tro de Panamá (SMP, 2010) correspondía a 230000 viajes diarios, por lo que la demanda anual estimada de viajes se traduce a 56.9 millones de viajes, esto produce una externalidad de ahorro económico estimada de 188 millones al año, de acuerdo al cálculo de la ecuación (1). Luego realizando el mismo calculo pero con la data real, es decir con la demanda real anual de 65,750, 799 millones viajes al año, se obtiene un valor de 217 millones de dólares al año de ahorro económico.

Tabla 4. Cuantificación preliminar de la externalidad económica del metro de Panamá (Escenario C con salario mínimo) (Berbey-Álvarez *et al.*, 2017).

Año	2014M	2015C	2016	2020C	2025C	2030C	2035C
Tvsm	80	80	81.4	87	88	89	95
Tvcm	23	23	26	26	26	26	26
Ah	57	57	55.4	61	62	63	69
DDE	229,886	230,000	237,800	269,000	302,000	334,000	378,000
DAE	56,896,785	56,925,000	58,855,500	66,577,500	74,745,000	82,665,000	93,555,000
IPC	xx	xx	xx	0.03	0.03	0.03	0.03
Smin	3.48	3.48	3.48	4.03	4.68	5.42	6.29
EEP	\$188,100,771	\$188,194,050	\$189,114,493	\$273,068,394	\$361,221,903	\$470,596,382	\$676,220,888
EEP (en millones)	188	188	189	273	361	471	676
DRA	57,535,148	65,750,799	78,463,136	xxxxxxx	xxxxxxx	xxxxxxx	xxxxxxx
EER	190,211,199	217,372,141	252,117,749	xxxxxxx	xxxxxxx	xxxxxxx	xxxxxxx
EER (en millones)	190	217	252	xxxxxxx	xxxxxxx	xxxxxxx	xxxxxxx
Dif EER-EEP	2	29	63	xxxxxxx	xxxxxxx	xxxxxxx	xxxxxxx
DDE: Demanda diaria estimada DAE: Demanda anual estimada IPC: Índice de precios al consumidor (3%) Smin: Salario mínimo				EEP: Externalidad económica proyectada DRA: Demanda real anual EER: Externalidad económica real			

Para el año 2016, con la extensión de la línea 1 del Metro de Panamá hasta la nueva estación terminal de San Isidro el tiempo de viaje aumento de 23 minutos a 26 minutos. Por lo que el ahorro de tiempo se traduce a 55.4 minutos, con la demanda diaria estimada de 237800 (SMP, 2010), la demanda anual estimada de los viajes del metro de Panamá corresponde a 58.85 millones. Esto arroja una externalidad económica de 189 millones de dólares anuales. Para el mismo año 2016 la demanda real anual de los viajes en la línea 1 del metro de Panamá (MP, 2017) fue de 78,46 millones de viajes anuales.

Esto arroja una externalidad real de 252 millones de dólares bajo el escenario de salario mínimo.

La figura 3 muestra la evolución de la externalidad económica o beneficio socio económico de la línea 1 del Metro de Panamá, en relación al ahorro de movilización de los pasajeros utilizando este modo de transporte urbano ferroviario masivo de pasajeros. En dicha figura se presenta una comparación de la externalidad económica calculada con data estimada de viajes vs la misma externalidad económica de ahorro de tiempo con data real de la demanda anual efectiva de viajes de la línea 1 del Metro de Panamá.

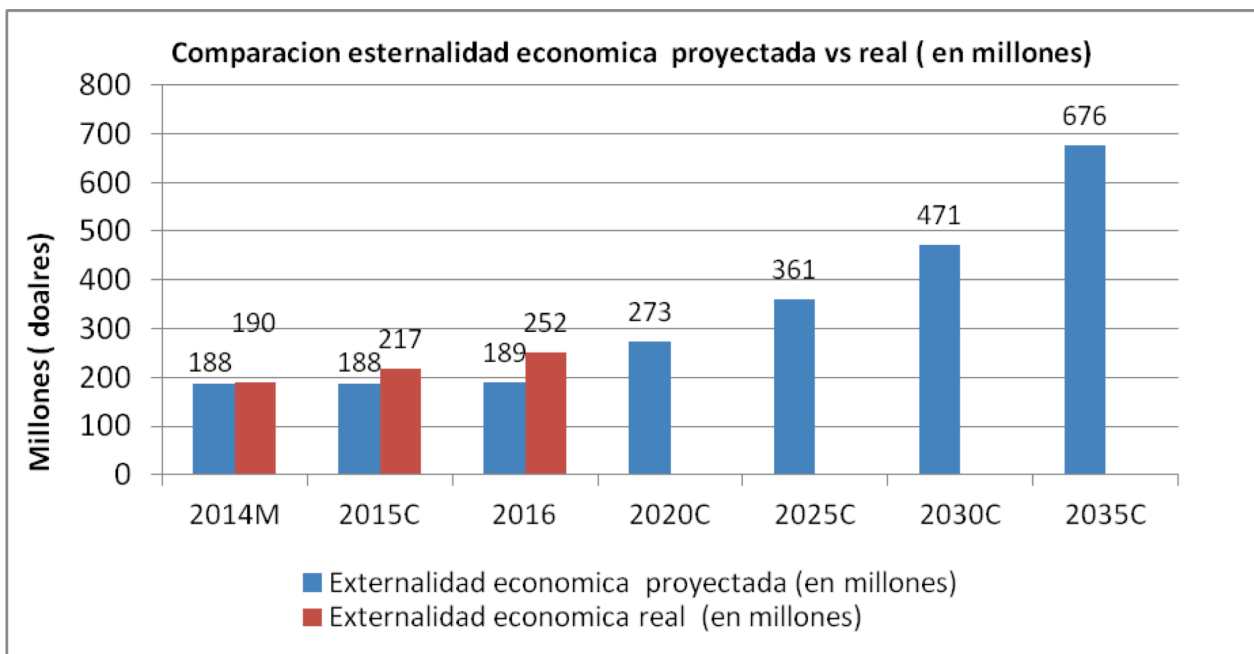


Figura 3. Resultados de la externalidad económica relativo al ahorro de tiempo en términos monetarios (Estimada vs Real). (Berbey-Alvarez *et al.*, 2017).

De acuerdo con la Secretaría del Metro de Panamá (2010) la población se agrupó por rango de ingreso familiar, en Balboas de 1990, que representa aproximadamente el 80% de los valores de 2010. Se utilizó esta misma relación para estimar los rangos salariales por extractos sociales para el año 2014.

Tabla 5. De talle de la estimación de la estratificación de la población panameña.

Población	1990	Población	%	2010	2014
Bajo	(menos de \$ 400)	1,014,808	64.16	(menos de \$ 500)	(menos de \$613)
Medio	(entre \$ 400-\$1,000)	361,643	22.86	(entre \$ 500-\$1,250)	(entre \$613-1563)
Alto	(más de \$ 1,000 mensuales)	205,222	12.97	(más de \$ 1,250 mensuales)	(más de \$1563 mensuales)
		1,581,673	100		

En la tabla 6, se desarrolló utilizando la ecuación (2) el detalle de los cálculos de la externalidad del ahorro económico por año, por estrato social, por demanda anual estimada y demanda anual real. La ecuación (3) correspondiente al cálculo del valor futuro en función del valor presente se utilizó para la estimación de la evolución del salario mínimo con un IPC del 3%.

Tabla 6. Detalle de los cálculos de la externalidad del ahorro económico por año, por estrato social, por demanda anual estimada y demanda anual real.

Año	2014M	2015C	2016	2020C	2025C	2030C	2035C
Tvsm	80	80	81.4	87	88	89	95
Tvcm	23	23	26	26	26	26	26
Ah	57	57	55.4	61	62	63	69
Demanda diaria estimada(DD E)	229,886	230,000	237,800	269,000	302,000	334,000	378,000
Demanda diaria C1 (64%)	147,127	147,200	152,192	172,160	193,280	213,760	241,920
Demanda diaria C2 (23%)	52,874	52,900	54,694	61,870	69,460	76,820	86,940
Demanda diaria C3 (16%)	36,782	36,800	38,048	43,040	48,320	53,440	60,480
Demanda anual estimada (DAE)	56,896,785	56,925,000	58,855,500	66,577,500	74,745,000	82,665,000	93,555,000
Demanda anual C1	36,413,942	36,432,000	37,667,520	42,609,600	47,836,800	52,905,600	59,875,200
Demanda anual C2	13,086,261	13,092,750	13,536,765	15,312,825	17,191,350	19,012,950	21,517,650
Demanda anual C3	9,103,486	9,108,000	94,168,80	10,652,400	11,959,200	13,226,400	14,968,800
IPC proyectado	xx	xx	xx	0.03	0.03	0.03	0.03
Salario mínimo (613/mes) MEF	3.48	3.48	3.48	4.03	4.68	5.42	6.29
Externalidad económica proyectada (EEP)	\$188,100,771	\$188,194,050	\$189,114,493	\$273,068,394	\$361,221,903	\$470,596,382	\$676,220,888
Externalidad económica proyectada (en millones)	188	188	189	273	361	471	676
IPC proyectado	xx	xx	xx	0.03	0.03	0.03	0.03
Salario C2(6.18)	6.18	6.18	6.18	7.16	8.31	9.63	11.16
IPC proyectado	xx	xx	xx	0.03	0.03	0.03	0.03
Salario C3(\$1563)	8.80	8.80	8.80	10.20	11.83	13.71	15.89
C1=613.6/22/8	120,384,494	120,444,192	121,033,275	17,4763,772	231,182,018	301,181,684	432,781,368

C2a=(613+1563)/2/22/8	76,829,436	76,867,535	77,243,488	111,534,315	147,540,464	192,214,281	276,201,256
C3=1563/22/8	76,105,140	76,142,880	76,515,289	110,482,844	146,149,552	190,402,214	273,597,417
EEP C1 proy (en millones)	120	120	121	175	231	301	433
EEP C2 proy (en millones)	77	77	77	112	148	192	276
EEP C3 proy (en millones)	76	76	77	110	146	190	274
Suma de las EEP C1+C2+C3 (en millones)	273	273	275	397	525	684	983
Demanda real anual (DRA)	57,535,148	65,750,799	78,463,136	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx
EER salario mínimo	190,211,199	217,372,141	252,117,749	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx
EER salario mínimo (en millones)	190	217	252	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx
Dif EEP-EER	2	29	63	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx
Demanda anual real C1	36,822,495	42,080,511	50,216,407	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx
Demanda anual real C2	13,233,084	15,122,684	18,046,521	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx
Demanda anual real C3	7,479,569	8,547,604	10,200,208	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx
EER C1=613/22/8	121,735,168	139,118,171	161,355,359	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx
EER C2a=(613+1250)/2/22/8	77,691,436	88,785,276	102,977,060	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx
EER C3=1250/22/8	62,529,199	71,457,968	82,880,087	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx
EER C1 (en millones)	122	139	161	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx
EER C2 (en millones)	78	89	103	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx
EER C3 (en millones)	63	71	83	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx
EER C1+C2+C3 (en millones)	262	299	347				
Dif EEP-EER	-11	26	72				
DDE: Demanda diaria estimada DAE: Demanda anual estimada IPC: Índice de precios al consumidor (3%) Smin: Salario mínimo				EEP: Externalidad económica proyectada DRA: Demanda real anual EER: Externalidad económica real IPC proyectado: Índice de precios al consumidor			

La figura 4 resumen la comparación de la externalidad del ahorro económico proyectado por extracto social en comparación con la externalidad del ahorro económico real de acuerdo a la demanda real de viajes de la línea 1 del Metro de Panamá. Como se aprecia en este figura 4 las externalidad del ahorro económico real (161, 139, 122 millones) para el extracto más bajo (65%) han sido mayores que las externalidad estimada del ahorro económico (121,120,120 millones dólares para cada uno de los años 2016, 2015C,

2014M. Del mismo modo, se observa que para el extracto social medio (23%), la externalidad del ahorro económico es similar para el horizonte del año 2014M con 77 millones de dolares tanto para la demanda de viajes estimada como para la demanda de viajes real de la línea 1 del Metro de Panamá. Para el extracto social más alto solo en el año 2016, el ahorro económico real de la movilidad de pasajeros de este extracto que corresponde a 83 millones supera el ahorro estimado de 77 millones. Sin embargo, es positivo mencionar que los ahorros reales del extracto social más alto presentan el 93.42% (2015C) y el 82.89% (2014M) de los ahorros económicos estimados originalmente. En la figura 4 a partir del escenario 2020C se presenta solo los ahorros económicos estimados por extracto social de la demanda de viajes estimada de la línea 1 del metro de Panamá.

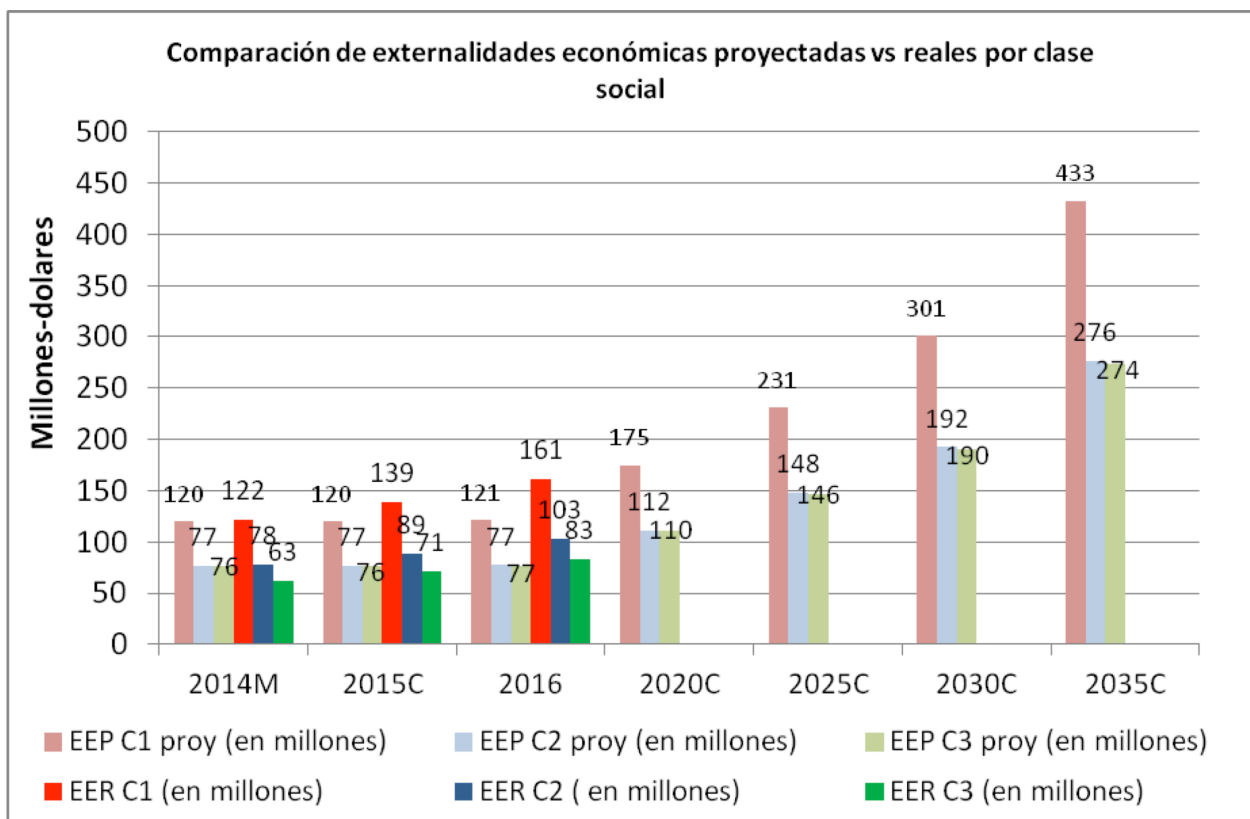


Figura 4. Resultados de la externalidad económico en términos de ahorro monetario por extracto social (estimada vs real).

La figura 5 resumen los resultados de los ahorros económicos totales en función del extracto social de la demanda de los viajes estimados y reales de la línea 1 del Metro de Panamá. A partir del año 2020C solo se presentan los valores estimados de la externalidad económica estimada del ahorro de tiempo de los viajes de los pasajeros en la línea 1 del metro de Panamá.

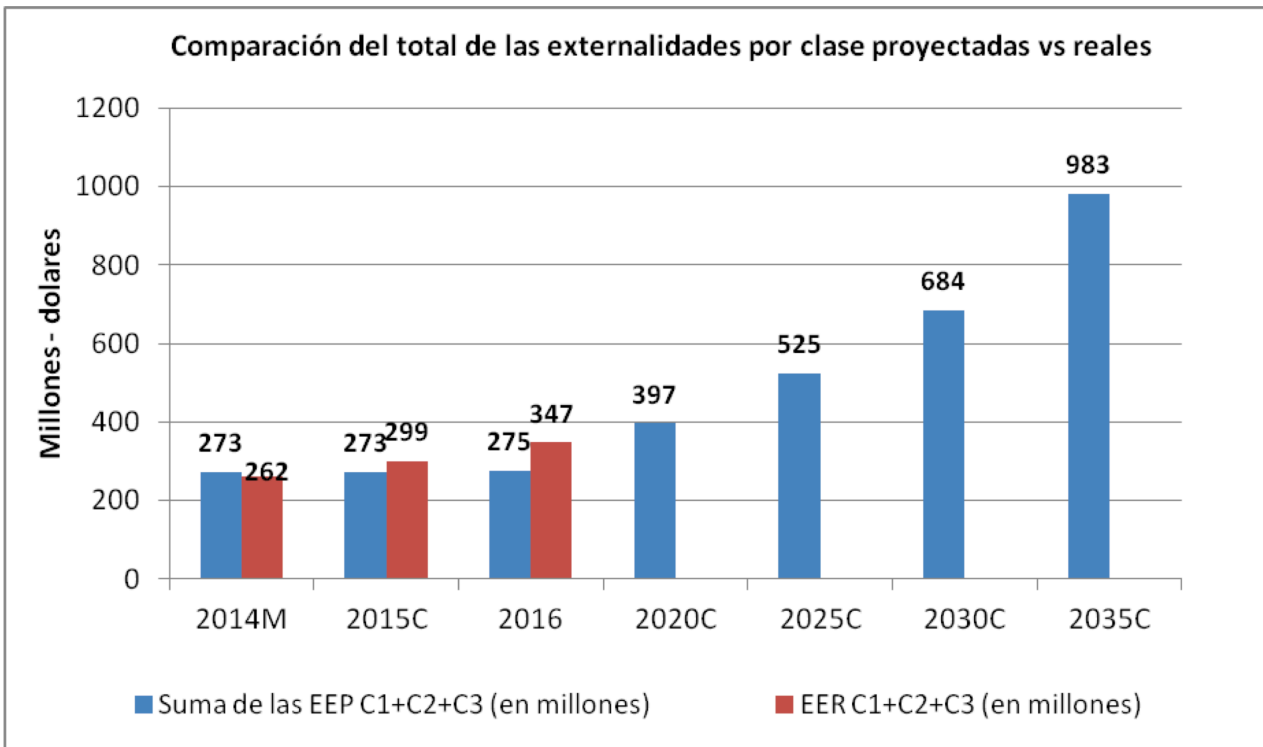


Figura 5. Resultados de la externalidad económico total de los extractos (estimada vs real).

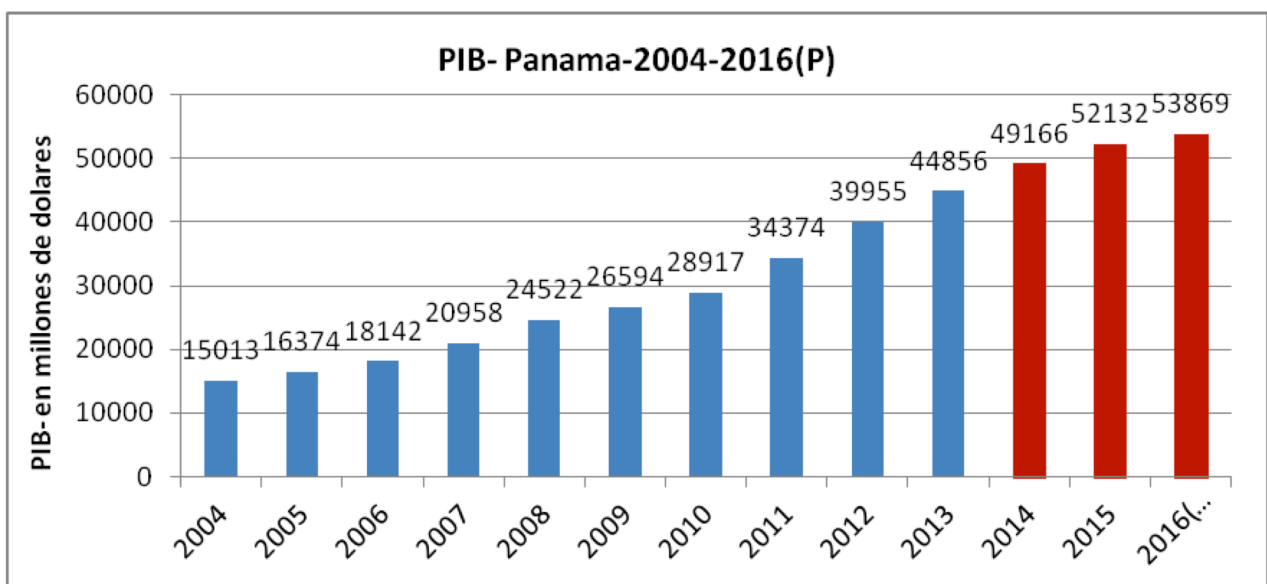


Figura 6. Evolución del PIB- Panamá 204-2016(P).
Elaboración propia a partir de datos del Banco Mundial.

En comparación al Producto Interno Bruto de Panamá (PIB), es posible apreciar en la tabla 7, el porcentaje que presentan la externalidad económica real para los años 2014, 2015 y 2016(P) corresponde a 0.53%, 0.57% y 0.64% respectivamente. Es decir, la ciudad de Panamá perdía todos años 2.4 % del PIB por temas de congestión vehicular (Banco Mundial, 2007). Sin embargo, ahora no solo se produce una estabilización automática

de los tiempos de viajes de norte a sur y viceversa de la Ciudad de Panamá, gracias a la línea 1 del Metro de Panamá, sino que los beneficio en la externalidad económica del ahorro del tiempo de viaje va en aumento.

Tabla 7. Relación porcentual de la externalidad estimada y real vs el PIB –Panamá.

2013	2014	2015	2016(P)
PIB	49,165,773,079	52,132,289,747	53,869,000,000
PIB (en millones)	49,166	52,132	53,869
EEE (en millones)	273	273	275
EER (en millones)	262	299	347
%EEE/PIB	555	524	510
%EER/PIB	533	574	644

Finalmente, este estudio logra identificar y valorizar preliminarmente las externalidades urbanas que genera el proyecto del metro de la línea 1 de la ciudad de Panamá. En la tabla 5 se detallan y clasifican dichas externalidades. En términos generales, este tipo de proyectos generan una gran cantidad de externalidades positivas, las cuales deben ser objeto de estudios por las autoridades competentes de forma que sean utilizadas para beneficio de la sociedad, mantenimiento de la calidad y eficiencia del servicio de forma que los consumidores se incentiven en utilizar en mayor masa este medio de transporte. Finalmente, se observa que este estudio puede ser utilizado para crear indicadores de impacto de forma que sea una herramienta eficaz y oportuna para una toma de decisiones para nuevas líneas del metro y sea sostenible en el largo plazo. Además, la ciudad tiene un crecimiento incontrolado en la demanda de servicio de transporte como consecuencia del desarrollo desorganizado, concentrando la mayor actividad económica del país en zonas de difícil acceso vial de la ciudad en los últimos años. Para estos altos niveles de demanda de pasajeros, el metro y el ferrocarril de cercanías siguen siendo las opciones más adecuadas.

5. Conclusiones

El transporte ferroviario es un componente fundamental de las grandes capitales del mundo. Aquí queda claro que la Ciudad de Panamá requiere, desde hace varios lustros, una alternativa de transporte urbano ferroviario que dinamice la economía nacional. Los beneficios directos o externalidades para la sociedad son principalmente en:

- Ahorro del tiempo de desplazamiento entre los trabajos y sus casas.
- Disminución notoria de los niveles de contaminación atmosférica que afecta directamente en la productividad y la salud de los ciudadanos.
- Disminución parcial de los niveles de congestión dentro de las zonas de cercanía al metro.
- Niveles de ruido se reducen parcialmente, en zonas de cercanía del metro debido a la mayor utilización del metro por parte de los ciudadanos.
- Fomenta la inversión privada tanto comercial como residencial, en zonas de cercanía al metro.
- También produce una revalorización urbana y mayor plusvalía en las zonas residenciales cercanas al metro.
- Contribuye a la imagen urbana de la ciudad creando ambientes agradables para los ciudadanos y turistas.

En base a lo anterior, es posible concluir que, aunque las inversiones requeridas para esta clase de proyectos son grandes, en especial para países pequeños como Panamá, su recuperación en función a las externalidades positivas los hacen altamente rentables desde un punto de vista social.

6. Agradecimientos

Los autores de este artículo agradecen a la Secretaria del Metro de Panamá por el apoyo brindado al Proyecto I+D “Metodologías e índices de desempeño para sistemas de transporte ferroviario” con motivo de todas las publicaciones científicas que se han generado a partir de este proyecto de investigación desarrollado en la Universidad Tecnológica de Panamá en la Facultad de Ingeniería eléctrica y recientemente en el Centro de Investigaciones eléctricas, mecánicas y de las industria.

7. Referencias

Alvarado, F., Jiménez, G., Lopez, K., Pacheco, E., Roa, N., Solis, A., Tejada, M y Berbey-Alvarez, A. APANAC. Mención Honorífica. Categoría C. Investigadores participantes en el XVI Congreso que presenten en cartel sus resultados de trabajos de investigación. Póster PA. F. Alvarado, G. Jiménez, K. Lopez, E. Pacheco, N. Roa, A. Solis, M. Tejada y A. Berbey-Alvarez. *Sistemas de ventilación mayor y aires acondicionados*

- de la Línea 1 del metro de Panamá*. XVI Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología. Asociación panameña para el avance de la ciencia. 19 al 22 de octubre del 2016, Hotel Wyndham Panamá, Albrook Mall.2016.
- Aymerich, M., Colomer, J., Ibeas, A. Izquierdo, R., Menendez, J.M., Monzon, A. Robuste, M, Turro, A., Zaragoza. *Transportes. Un enfoque integral, Tomo I. Transporte y economía del Transporte*. 2001. ISBN 84- 380- 0196- 3. 2001.
- Banco Mundial, *La movilidad urbana en el Área metropolitana de Panamá. Elementos para una política integral del Departamento de Desarrollo Sostenible de la Región de Latinoamérica y el Caribe*, del Banco Mundial. 2007.
- Berbey, A. Diplomado en Ingeniería ferroviaria. Comité extensión. Acta de aprobación. FIE-UIPE.UTP.
- Berbey, A., Proyecto I+D *Metodologías e índices de desempeño para sistemas de transporte ferroviario*, I seminario en investigación y Desarrollo Científico Regional y II seminario en Innovación, Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Energicamente Eficiente. Organizado por: OEA (USA)-ICTP (Italia)-InCYTDE en Guatemala 2013.
- Berbey, A. Estudio de caso: Tópicos de actualización tecnológica. El efecto de diseminación de la investigación sobre la docencia universitaria. InnoeducaTIC2015. II Jornadas Iberoamericanas de Innovación Educativa en el Ámbito de las TIC, Las Palmas de Gran Canaria, 12-13 de noviembre 2015. ISBN: 978-84-608-3145-7. 2015
- Berbey, A. Cómo evaluar la inserción de la investigación en la docencia universitaria? Caso de estudio: Tópicos de Actualización Tecnológica. III Jornadas Iberoamericanas de Innovación Educativa en el Ámbito de las TIC, Las Palmas de Gran Canaria, 17-18 de noviembre 2016. ISBN: 978-84-608-3145-7. 2016
- Berbey A., Caballero R., Proyecto I+D *Metodologías e índices de desempeño para sistemas de transporte ferroviario*, Informe técnico-financiero de la primera etapa del proyecto de I+D , Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT), Ciudad de Panamá, Panamá, 2010.
- Berbey A., Caballero R., Proyecto I+D *Metodologías e índices de desempeño para sistemas de transporte ferroviario*, Informe técnico-financiero de la tercera etapa del proyecto de I+D , Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT), Ciudad de Panamá, Panamá, 2011.
- Berbey, A., Caballero, R. y Cogley, A. APANAC. Premio Mejor Póster Congreso APANAC 2012. A. Berbey, R. Caballero y A. Cogley. PB-85. *Simulaciones Mecánicas y Productividad de las Paradas de la Línea 1 del Metro de Panamá*. XIV Congreso Nacio-

- nal de Ciencia y Tecnología. APANAC 2012. Ganador de premio al mejor póster APANAC 2012.
- Berbey Álvarez, A., Caballero, R. Cogley, A. "Simulación de escenarios operativos nominales de la línea 1 de metro de Panamá". XII Encuentro Iberoamericano de Mujeres Ingenieras, Arquitectas y Agrimensoras. "Perspectiva de la mujer profesional Iberoamericana, ante las tendencias de la ingeniería y arquitectura sostenible" ISBN-978-9962-698-16-6. 17 al 21 de febrero de 2014. Panamá, República de Panamá. 2014.
- Berbey, A., Caballero, R., Sánchez, V., Calvo, F. Passenger's flow for a train's coach and dwelling time using fuzzy logic. In *Proceedings of 2014 International Work Conference on Bio-inspired Intelligence (IWOBI)*, Liberia, Costa Rica, 16–18 July 2014; pp. 30–60
- Berbey Álvarez, A., Guevara Cedeño, J., Caballero, R. "Externalidades socio-ambientales de la línea 1 del metro de Panamá". XII Encuentro Iberoamericano de Mujeres Ingenieras, Arquitectas y Agrimensoras. "Perspectiva de la mujer profesional Iberoamericana, ante las tendencias de la ingeniería y arquitectura sostenible" ISBN-978-9962-698-16-6. 17 al 21 de febrero de 2014. Panamá, República de Panamá. 2014.
- Berbey-Alvarez, A., Guevara-Cedeño, J., Castillo, G., Álvarez, H., De La Torre Diez, I. Ahorro en tiempos de viajes: Externalidad socio económicas de la Línea 1 del Metro de Panamá en la productividad urbana. Reunión de Jóvenes Investigadores de Iberoamérica Centro Tordesillas de Relaciones con Iberoamérica de la Universidad de Valladolid, 31 de marzo del 2017. Tordesillas, España. 2017.
- Berbey-Alvarez, A., Merchan, F., Guevara Cedeño, J., Cogley A., Caballero.R. Caracterización de la línea 1 del Metro de Panamá. Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, THE THIRTEENTH LATIN AMERICAN AND CARIBBEAN CONFERENCE FOR ENGINEERING AND TECHNOLOGY, Santo Domingo, Dominican Republic. 2015.
- Berbey Alvarez, A., Merchan, F., Calvo Poyo, F.J. y Caballero, R. A Fuzzy Logic-Based Approach for Estimation of Dwelling Times of Panama Metro Stations. *Entropy* 17 (2015), 2688-2705; doi:10.3390/e17052688. ISSN 1099-4300.
- Berbey, A. y SENACYT. Memorándum de entendimiento. Proyecto de reinserción de becaria. *Metodología e índices de desempeño para sistemas de transporte ferroviario*. 2009-2011.

- Bermúdez, Ricardo. Bermúdez en la cultura arquitectónica y literaria de Panamá. Compilación, clasificación y prólogo de Samuel A. Gutiérrez Tomo I. ISBN 84-921778-0-2. 1996.
- Cogley, A. Berbey Álvarez, A., Caballero, R. "Estimación de los servicios parciales de la línea 1 del metro de Panamá". XII Encuentro Iberoamericano de Mujeres Ingenieras, Arquitectas y Agrimensoras. Perspectiva de la mujer profesional Iberoamericana, ante las tendencias de la ingeniería y arquitectura sostenible" ISBN-978-9962-698-16-6. 17 al 21 de febrero de 2014. Panamá, República de Panamá. 2014.
- De Caballero (A. Berbey-Alvarez), A. Caballero R., Álvarez H., Laguardia C., Batista D., Solís D., Sanz J.D., Galán R., Brunel J., Guerra K., Flores J., "El Transporte Ferroviario: Fundamentos y Algunas Características Más Sobresalientes". *Revista Prisma Tecnológico*, Vol.3, N°1 (2012). ISSN 2076-8133.
- Jordan R., Livert-Aquino F., "Guía para decisiones: Externalidades de proyectos de infraestructura urbana", CEPAL – Colección Documentos de proyectos, 2009.
- Ministerio de Economía y Finanzas. <http://www.mef.gob.pa/es/informes/Documents/Balance%20Economico%20Panama%202015%20y%20Perspectivas%202016%20-%20Foro%20de%20Capital%20Financiero%20Oct.%202015.pdf> 2016.
- Ministerio de Economía y Finanzas. http://www.mef.gob.pa/es/noticias/Paginas/Mefpresentapresupuesto2016.aspx#.WMG_pDiPZQ8.
- Ministerio de Economía y Finanzas. <http://www.mef.gob.pa/es/noticias/Paginas/Inflacionmasbaja.aspx>. República de Panamá. Fecha de búsqueda, Marzo, 2017.
- Ministerio de trabajo y Desarrollo laboral. Servicios en línea. Consulta de salario mínimo en línea. <http://filemaster.mitradel.gob.pa/ServiciosVirtualizados/ConsultaSalarioMinimo.aspx>. Fecha de consulta: Febrero/10/2017.
- MP. Metro de Panamá. *Wikipedia*. https://es.wikipedia.org/wiki/Metro_de_Panam%C3%A1. Source Date: February 2017.
- Periódico *La Estrella de Panamá*. Carlos Atencio. El Metro de Panamá, entre los mejores del mundo. <http://laestrella.com.pa/panama/nacional/metro-entre-mejores-mundo/23927947>. *La Estrella de Panamá*. 15 de marzo 2016.
- Periódico *La Estrella de Panamá*. Quintin Moreno. La Estrella de Panamá. El Metro de Panamá cumple su primer año de funcionamiento. <http://laestrella.com.pa/panama/nacional/metro-panama-cumple-primer-funcionamiento/23855875>. Domingo 5 de abril de 2015.

- Periódico *El Panamamerica*. Dayra Rodríguez/Web. Metro de Panamá será inaugurado el próximo 5 de abril. <http://www.panamaamerica.com.pa/content/metro-de-panam%C3%A1-ser%C3%A1-inaugurado-el-pr%C3%B3ximo-5-de-abril>. 31/12/2013. Fecha de consulta : Febrero, 2017.
- Rivera, H. GESTION DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ENERGIA DEL METRO DE PANAMÁ. Práctica Profesional 2015.
- Secretaria del Metro de Panamá. Estudio de la demanda para la línea 1 del sistema de transporte masivo de la ciudad de Panamá. 2010. (in Spanish).
- SENACYT. Placa de reconocimiento por el proyecto I+D “Metodologías e índices de desempeño para sistemas de transporte ferroviario”, Senacyt, Ciudad del Saber, Panamá, 20 de enero 2015.
- SNE. Secretaria Nacional de Energía.2015- 20. 2015.
- SMP, Secretaria del Metro de Panamá. “Estudio de demanda para la línea 1 del sistema de transporte masivo de la ciudad de Panamá”, Informe Final, Secretaria del Metro (SMP), República de Panamá, 2010.
- Seyfi Top, Serkan Dilek, Nurdan Colakoglu. Perceptions of network effects: Positive or negative externalities? Sciverse science direct. *Procedia Social and Behavioral Sciences* 24 (2011) 1574-1584. 2011.
- Telemetro*. Inaugura el Metro de Panamá, el primero de Centroamérica. http://www.telemetro.com/nacionales/Inaugura-Metro-Panama-primero-Centroamerica_0_685731930.html. 5 de abril 2014.
- UTP. Seminario de Sistemas de Transporte urbano ferroviario. 2010.
- UTP. Seminario "Sistemas de Ingeniería Ferroviaria". <http://www.utp.ac.pa/seminario-sistemas-de-ingenieria-ferroviaria>. Fecha: Última actualización el Mié. 08/27/2014 - 14:33.
- UTP. <http://www.utp.ac.pa/personal-de-la-utp-visita-ferrocarril-interoceanico-de-panama>. Fecha: Última actualización el Vie, 08/21/2015 - 15:28.
- Vuchic, Durkam. *Urban Public Transportation*. 1981.
- Zamorano, Cl., Bigas, J.M., Sastre, Julián. *Manual de tranvías, metros ligeros y sistemas en plataforma reservada. Diseño, proyecto, financiación e implementación*. ISBN 84-86803-0. 2006.