



Metro de Madrid, S.A.

ESTUDIOS PARA EL DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE MASIVO DE QUITO Y FACTIBILIDAD DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE QUITO

FASE:	F.3: Estudio de Factibilidad de la primera línea del Metro de Quito
ACTIVIDAD:	A.3.5. Estudio de Viabilidad Socio Económica
ENTREGABLE:	E-3.5 Estudio de Viabilidad Socio Económica



CDC-UNMQ-003-2010

Fase: F.3. Estudio de Factibilidad de la primera línea del Metro de Quito

Actividad: A.3.5. Estudio de Viabilidad Socio Económica

CONTROL DE MODIFICACIONES

REVISIÓN	FECHA	REVISADO POR	DESCRIPCIÓN DE LA MODIFICACIÓN
Nº 1	17/3/2011	Vicente Alcaraz	
Nº 2	18/3/2011	Antonio Sánchez Soliño	
Nº 3	18/3/2011	Vicente Alcaraz	
Nº 4			
Nº 5			
Nº 6			
Nº 7			
Nº 8			
Nº 9			
Nº 10			
Nº 11			
Nº 12			

ÍNDICE

1.	ORIGEN DEL PROYECTO Y OBJETIVO DEL ESTUDIO.....	7
1.1.	ORIGEN DEL PROYECTO	7
1.1.1.	Breve descripción de la ciudad de Quito	7
1.1.2.	Descripción del problema.....	15
1.1.3.	Alternativas consideradas en estudios previos	17
1.1.4.	Planificación del SITM en la ciudad de Quito	19
1.2.	OBJETIVO DEL ESTUDIO	24
1.3.	ASPECTOS METODOLÓGICOS DEL ESTUDIO DE VIABILIDAD SOCIO-ECONÓMICA.....	25
2.	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	28
3.	PROYECCIÓN DE LOS ESCENARIOS SOCIALES SIN Y CON PROYECTO	29
3.1.	PROYECCIÓN DE LOS ESCENARIOS SOCIALES SIN Y CON PROYECTO	31
3.1.1.	La población y su densidad	31
3.1.2.	Los ingresos medios en el DMQ	32
3.1.3.	Kilómetros por viaje y modo de transporte promedio.....	33
3.1.4.	Motivo del desplazamiento.....	34
3.2.	ESTUDIO DEL ESCENARIO BASE (SIN PROYECTO)	35
3.2.1.	Número de desplazamientos	36
3.2.2.	Pasajeros – km	37
3.2.3.	Pasajeros – hora	38
3.2.4.	Velocidad media	39
3.2.5.	Tiempo de viaje	41
3.3.	ESTUDIO DEL ESCENARIO CON PROYECTO	42
3.3.1.	Número de desplazamientos	44
3.3.2.	Pasajeros – km	46
3.3.3.	Pasajeros – hora	46
3.3.4.	Velocidad media	46
3.3.5.	Tiempo de viaje	47
4.	IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN SOCIAL DE COSTES Y BENEFICIOS	49
4.1.	IDENTIFICACIÓN DE COSTES Y BENEFICIOS ASOCIADOS AL PROYECTO	50
4.2.	MÉTODOS Y CRITERIOS GENERALES DE VALORACIÓN	52
4.3.	SELECCIÓN DEL PERIODO DE ANÁLISIS	52
4.4.	COSTES Y BENEFICIOS ASOCIADOS AL PROYECTO	53
4.4.1.	Costes del proyecto.....	53
4.4.2.	Beneficios	59
4.4.3.	Valores residuales.....	95

5.	EVALUACIÓN SOCIO-ECONÓMICA DEL PROYECTO	96
5.1.	RESULTADOS DEL ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO	97
5.1.1.	Tasa de descuento social	97
5.1.2.	Valor Actual Neto (VAN)	97
5.1.3.	Tasa Interna de Retorno.....	99
5.1.4.	Tasa de Retorno Social Inmediato del proyecto (TRIS).....	99
5.1.5.	Ratio beneficio-coste	100
5.1.6.	Periodo de retorno	101
5.2.	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS ACBS DE OTRAS LÍNEAS DE METRO	101
5.3.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	104
5.3.1.	Sensibilidad de los resultados a la inversión y los costes de operación y mantenimiento	105
5.3.2.	Sensibilidad de los resultados al número de viajeros de Metro y el valor del tiempo	106
5.3.3.	Sensibilidad de los resultados a la tasa de descuento social y a la descongestión del tráfico en superficie.....	107
5.3.4.	Sensibilidad de los resultados a un mayor coste de la inversión y una reducción de la demanda	109
5.4.	CONCLUSIONES DEL ACB.....	110
6.	VALORACIÓN DE OTROS IMPACTOS SOCIO-ECONÓMICOS	112
6.1.	CREACIÓN DE EMPLEO	112
6.2.	EFFECTO RED: VERTEBRACIÓN NORTE-SUR DEL SITM	113
6.3.	RECUPERACIÓN DE ÁREAS URBANAS	114
6.4.	TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO TECNOLÓGICO.....	119
6.5.	IMPACTO EN LA POBREZA	120
6.6.	DESARROLLO URBANO.....	120
6.7.	MEJORA DEL POTENCIAL DE CRECIMIENTO Y DESARROLLO ECONÓMICO.....	121
6.8.	CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL PLAN DEL BUEN VIVIR	121
7.	ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS A REALIZAR EN OTRAS FASES DEL PROYECTO	123
8.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y LIMITACIONES.....	124
	Bibliografía.....	126
	Anexos.....	130
1.	Hipótesis utilizadas para el cálculo de los costes de operación de los vehículos.	130
2.	Extracto de las hojas de cálculo del modelo socio-económico	131
2.1.1.	Alternativa 1	131
2.1.2.	Alternativa 2	135

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: EVOLUCIÓN DE LA POBLACIÓN Y SU DENSIDAD EN EL DMQ. FUENTE: EQUIPO DE MOVILIDAD Y DEMANDA, METRO DE MADRID.	10
TABLA 2: PREVISIONES SOBRE LA EVOLUCIÓN DEL PIB EN ECUADOR. FUENTE: MINISTERIO DE FINANZAS.	12
TABLA 3: EVOLUCIÓN DE LOS INGRESOS MEDIOS EN EL DMQ. FUENTE: CAL Y MAYOR	13
TABLA 4: RESUMEN DE BENEFICIOS SOCIO-ECONÓMICOS PROCEDENTES DEL METRO DE QUITO. FUENTE: UNMQ	19
TABLA 5: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PROYECTO SEGÚN LA ALTERNATIVA CONSIDERADA.	21
TABLA 6: DEMANDA ESTIMADA EN FUNCIÓN DE LA ALTERNATIVA CONSIDERADA. FUENTE: EQUIPO DE MOVILIDAD Y DEMANDA, METRO DE MADRID.	23
TABLA 7: PARQUE AUTOMOTOR E INFRAESTRUCTURA VIAL. FUENTE: BID (2009), BANCO MUNDIAL (2000), INGRAM Y LIU (1997)	28
TABLA 8: DISTRIBUCIÓN DE POBLACIÓN, EMPRESAS Y SERVICIOS, Y TIEMPOS DE DESPLAZAMIENTO. FUENTE: BID CON BASE EN DATOS DEL CENTRO DE POBLACIÓN Y VIVIENDA DE 2001 (INEC)	29
TABLA 9: DEMANDA DEL METRO PARA LA ALTERNATIVA 1, EN VIAJEROS/DÍA LABORABLE. FUENTE: EQUIPO DE MOVILIDAD Y DEMANDA DE METRO DE MADRID.	45
TABLA 10: RESUMEN DE INVERSIONES PARA LAS DOS ALTERNATIVAS, EN USD DE 2010 (PRECIO DE MERCADO). FUENTE: EQUIPO TÉCNICO DE METRO DE MADRID.	56
TABLA 11: COSTES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA ALTERNATIVA 1 (USD DE 2010, PRECIOS SOMBRA).	57
TABLA 12: AFECTACIONES DE LA OBRA PARA LA ALTERNATIVA 1 (USD DE 2010).	58
TABLA 13: RESUMEN DE LOS COSTES DEL PROYECTO (USD DE 2010, PRECIOS SOMBRA).	59
TABLA 14: TIEMPOS PROMEDIO DE VIAJE EN QUITO. FUENTE: BID (2010), HYDEA-TARGET EURO (2008), EMDUQ (2007)	60
TABLA 15: INGRESO MEDIO NETO EN EL DMQ. FUENTE: CAL Y MAYOR.	62
TABLA 16: VALOR SUBJETIVO DEL TIEMPO DE VIAJE POR MODO DE TRANSPORTE EN ESPAÑA Y ECUADOR. FUENTE: COMISIÓN EUROPEA (2006), ELABORACIÓN PROPIA	63

TABLA 17: VALOR DEL TIEMPO POR QUINTILES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE LA ENIGHU REALIZADA POR EL INEC.	65
TABLA 18: RECAPITULATIVO DEL VALOR DEL TIEMPO SEGÚN LAS DIFERENTES METODOLOGÍAS EMPLEADAS.	66
TABLA 19: DEMORAS DEL TRANSPORTE PÚBLICO POR CAUSAS. FUENTE: CAL Y MAYOR.	70
TABLA 20: COSTES MONETARIOS ESTIMADOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE ORIGINADA POR EL TRANSPORTE POR CARRETERA Y FERROCARRIL. FUENTE: MAIBACH ET AL. (2008), ELABORACIÓN PROPIA.	83
TABLA 21: EMISIONES POR TIPOLOGÍA DE VEHÍCULO. FUENTE: BANCO MUNDIAL (1996)	84
TABLA 22: EMISIONES DE LOS VEHÍCULOS POR TIPO DE COMBUSTIBLE. FUENTE: DIRECCIÓN DE MEDIOAMBIENTE, DMQ (1998)	85
TABLA 23: ESTÁNDARES EUROPEOS DE LA EMISIÓN (2005).	85
TABLA 24: VALORES RECOMENDADOS EN EUROPA PARA LOS COSTES EXTERNOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO. FUENTE: MAIBACH ET AL. (2008)	88
TABLA 25: MUERTES POR ACCIDENTES DE TRÁNSITO. FUENTE: BID (2010), JACOBS ET AL (1999), KOPTIS Y CROPPER (2003)	90
TABLA 26: ESTIMACIÓN DE LOS COSTES MEDIOS DEL RUIDO PROCEDENTE DEL TRANSPORTE. FUENTE: INFRAS-IWW, ELABORACIÓN PROPIA.	93
TABLA 27: RESUMEN DE LOS BENEFICIOS SOCIALES DEL PROYECTO	95
TABLA 28: BALANCE COSTES-BENEFICIOS UTILIZANDO EL VAN, EN USD DE 2010.	98
TABLA 29: VAN DEL ACB CONSIDERANDO EXCLUSIVAMENTE LOS BENEFICIOS MÁS IMPORTANTES.	99
TABLA 30: TASA INTERNA DE RETORNO DE LAS DOS ALTERNATIVAS.	99
TABLA 31: TASA DE RETORNO SOCIAL INMEDIATO DE LAS DOS ALTERNATIVAS.	100
TABLA 32: RATIO BENEFICIO-COSTE DE LAS DOS ALTERNATIVAS.	100
TABLA 33: PERIODO DE RETORNO DE LAS DOS ALTERNATIVAS.	101
TABLA 34: COMPARACIÓN DE LOS BENEFICIOS SOCIO-ECONÓMICOS DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE QUITO (ALTERNATIVA 1) CON LOS RESULTADOS DE OTROS ESTUDIOS. FUENTE: CIUDAD	

DE MÉXICO, NACIONES UNIDAS, UNMQ Y ELABORACIÓN PROPIA.	103
TABLA 35: SENSIBILIDAD DEL VAN A LA INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA Y LOS COSTES DE EXPLOTACIÓN (ALTERNATIVA 1).	105
TABLA 36: SENSIBILIDAD DE LA TIR A LA INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA Y LOS COSTES DE EXPLOTACIÓN (ALTERNATIVA 1).	106
TABLA 37: SENSIBILIDAD DEL VAN AL NÚMERO DE VIAJEROS Y AL VALOR DEL TIEMPO (ALTERNATIVA 1)	106
TABLA 38: SENSIBILIDAD DE LA TIR FRENTE A VARIACIONES EN EL NÚMERO DE VIAJEROS Y CAMBIOS EN EL VALOR DEL TIEMPO.	107
TABLA 39: SENSIBILIDAD DEL VAN A LA TASA DE DESCUENTO SOCIAL Y LA DESCONGESTIÓN EN SUPERFICIE (ALTERNATIVA 1).	108
TABLA 40: SENSIBILIDAD DE LA TIR A LA TASA DE DESCUENTO SOCIAL Y LA DESCONGESTIÓN EN SUPERFICIE (ALTERNATIVA 1).	108
TABLA 41: SENSIBILIDAD DEL VAN AL NÚMERO DE VIAJEROS Y LA INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA (ALTERNATIVA 1).	109
TABLA 42: SENSIBILIDAD DE LA TIR AL NÚMERO DE VIAJEROS Y LA INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA (ALTERNATIVA 1).	110
TABLA 43: RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ACB PARA LAS ALTERNATIVAS ESTUDIADAS.	110
TABLA 44: ESTIMACIÓN DEL PERSONAL NECESARIO PARA LA OPERACIÓN DEL METRO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	113
TABLA 45: RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ACB PARA LAS ALTERNATIVAS ESTUDIADAS.	124

1. ORIGEN DEL PROYECTO Y OBJETIVO DEL ESTUDIO

1.1. ORIGEN DEL PROYECTO

El proyecto de la primera línea del Metro de Quito surge para dar respuesta al problema de la congestión y la movilidad que sufre la ciudad, y que empeorará previsiblemente en el futuro.

En este capítulo se ha realizado una descripción de los principales aspectos socio-económicos de la ciudad de Quito, el problema que se pretende resolver y las alternativas que se han considerado para solucionarlo.

Finalmente se ha descrito la solución que se considera mejor adaptada a las necesidades, y que es objeto de análisis detallado en este documento.

1.1.1. Breve descripción de la ciudad de Quito

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) está ubicado en la provincia de Pichincha, y tiene un área de 423.000 ha.

El principal asentamiento urbano de Pichincha es la ciudad de Quito, capital de la República del Ecuador. La ciudad se sitúa a 2850 metros sobre el nivel del mar, y tiene una población de 2,4 millones de habitantes.

Como capital de la República del Ecuador, Quito es el centro político, administrativo, educativo, cultural y turístico del país. El área de influencia de la ciudad se extiende por los cantones y provincias vecinas, con la consiguiente afluencia de personas y mercancías.



Quito es una ciudad lineal, con aproximadamente 42 km de largo y 4 km de ancho, ubicada en diferentes niveles de altura.

El Distrito Metropolitano de Quito cuenta en la actualidad con 2,4 Millones de habitantes, de los cuales un 73% aproximadamente es población urbana¹.

La densidad promedio de ocupación del área urbana de Quito es de 91,1 hab /ha, pudiéndose calificar de media-baja². Este fenómeno constituye una dificultad importante en la correcta cobertura de los servicios básicos, incluida la oferta de transporte. La relativa dispersión de la población hace necesaria una mayor inversión para obtener un nivel de cobertura similar al de enclaves con una mayor densidad de población.

Realizar una estimación de la evolución futura de la población del DMQ es un ejercicio complejo, debido a su diversidad y el crecimiento irregular que ha experimentado en los últimos años, que no permiten definir una tendencia clara. Se destacan los siguientes fenómenos:

- Área urbana:

¹ Fuente: "Entregable E-2.4", Equipo de movilidad y demanda, Metro de Madrid, 2011.

² Como referencia, se adjunta la densidad urbana de algunas ciudades (y entre paréntesis el año del dato): 198,39 hab/ha en Barcelona (2007); 196,68 hab/ha en Bilbao (2007); 134 hab/ha en ciudades ricas de Asia (2001), y 190 hab/ha en otras ciudades de Asia (2001); 90 hab/ha en ciudades de América Latina (2001).

- Aumento del crecimiento hasta principios de los años 80.
 - Desaceleración de la tasa de crecimiento a partir de los años 80: en el período 1982 – 2005 dicha tasa anual varía de 4,34% a 2,07%³.
- Área sub-urbana:
 - Aumento de la tasa de crecimiento anual desde principios de los años 80 hasta la actualidad, de 0,71% a 4,68%.
 - Explicado por multitud de factores: la implantación de las actividades de agro-exportación (parroquias orientales), los movimientos migratorios debido al menor costo del suelo en algunas zonas (como por ejemplo Calderón), mejores condiciones ambientales en los valles orientales, etc.

Existen dos fuentes que han realizado proyecciones de la población en el DMQ hasta el año 2020 incluido:

- Las estadísticas y proyecciones de población realizadas por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) y la Dirección Metropolitana de Planificación Territorial del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (DMPT del MDMQ).
- El Plan General de Desarrollo Territorial (PGDT), concretamente en el anexo dedicado a la Distribución Poblacional y el Plan de Uso y Ocupación de Suelos.

El PGDT realiza sus proyecciones utilizando como base los datos proporcionados por el INEC.

Para las proyecciones de la población más allá del año 2020, Cal y Mayor y Asociados hizo una estimación en el “Estudio de demanda de transporte del DMQ” que realizó en 2008, utilizando como dato de partida las proyecciones del INEC y el PGDT.

Adicionalmente, el equipo de Movilidad y Demanda de Metro de Madrid ha realizado a finales de 2010 un análisis de los aspectos demográficos en el DMQ, que se consideran más fiables por ser más recientes.

³PGDT, Plan General de Desarrollo Territorial 2000-2020, Memoria Técnica 2006-2010.

Los resultados obtenidos por el equipo de Movilidad y Demanda de Metro de Madrid, que son los finalmente adoptados para el presente trabajo, se resumen en la siguiente tabla:

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
En habitantes							
Nº Habitantes DMQ	2.385.605	2.655.343	2.962.601	3.237.944	3.538.885	3.867.805	4.227.304
Urbana	1.736.541	1.875.290	2.025.125	2.211.146	2.414.255	2.636.020	2.878.156
Suburbana	649.064	780.053	937.476	1.026.798	1.124.631	1.231.785	1.349.148
En densidad de población (hab/ha)							
Urbana	91,0	98,3	106,4	116,1	126,8	138,4	151,2
Suburbana	1,6	1,9	2,3	2,5	2,7	3,0	3,3

Tabla 1: Evolución de la población y su densidad en el DMQ. Fuente: Equipo de Movilidad y Demanda, Metro de Madrid.

El crecimiento de la población del DMQ será previsiblemente desigual, existiendo zonas donde se producirá un gran desarrollo. Para el año 2025 se estima que la población del Distrito Metropolitano de Quito estará concentrada mayoritariamente en cuatro áreas:

- Las zonas de Quitumbe en el sur
- Carapungo-Calderón en el norte
- En la parroquia Conocoto
- En las laderas del Pichincha.

Se puede observar de forma gráfica el crecimiento de la población del DMQ en la siguiente ilustración:

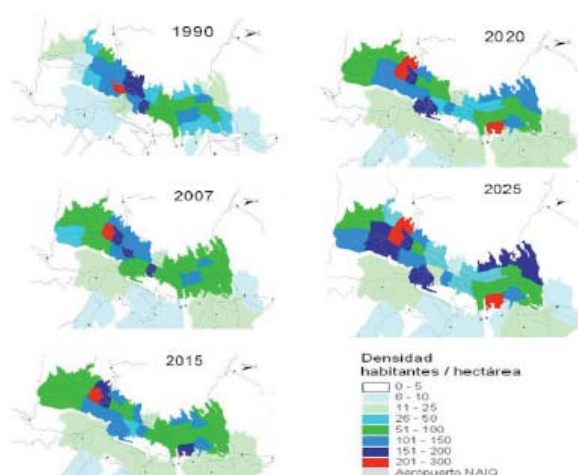


Ilustración 2: Evolución de la población y tendencia de la densidad poblacional 1990-2025. Fuente: DMPT-MDMQ

1.1.1.2. Aspectos económicos

El PIB del Ecuador en 2009 fue de 52,022 Millones de USD⁴. Se estima que la contribución de Quito al PIB del país ese año fue del 18,6% según el Banco Central del Ecuador, lo que representa 9,676 Millones de USD. Este dato pone de manifiesto la gran actividad económica de la ciudad y el elevado potencial de generación de viajes que presenta.

La población económicamente activa del DMQ se concentra en Quito (77% del total), en particular en las administraciones zonales de Quito, Eloy Alfaro, Eugenio Espejo, la Delicia y Manuela Sáenz. El resto de la población económicamente activa se sitúa en el área suburbana. Este ratio se mantiene para la población en edad de trabajar⁵.

La mayor densidad de empresas se concentra en el centro y norte de Quito (Centro Histórico, El Ejido, La Mariscal, La Colón y La Pradera). Se constituye de esta forma un Hipercentro económico. La población económicamente activa reside mayoritariamente en sectores periféricos a esta zona.

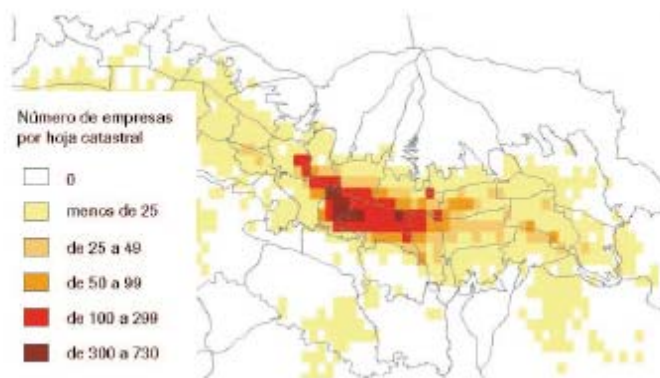


Ilustración 3: Densidad de Empresas en el DMQ. Fuente: DMPT – IRD – MDMQ. SRI – MDMQ, 1999

La gran concentración de empleos y servicios públicos (como sanidad o educación) en el Hipercentro obliga a gran cantidad de la población en edad de trabajar a realizar continuos desplazamientos hacia este

⁴Banco Central del Ecuador, Cifras Económicas del Ecuador, Mayo 2010.

⁵ Plan Maestro de Movilidad, EPMMOP.

sector. Estos desplazamientos constituyen aproximadamente el 47% del total de viajes motorizados diarios del DMQ⁶.

Este gran número de viajes hacia y desde el Hipercentro, combinado con las capacidades viales de la zona, explican la congestión que experimenta el lugar.

Respecto a la evolución del crecimiento anual del PIB, se mencionan las proyecciones macroeconómicas realizadas por el Ministerio de Finanzas del Ecuador:

	2010	2011	2012	2013	2014
PIB Nominal (Millones de USD)	57.033	62.043	68.086	74.490	79.842
Crecimiento PIB Nominal (%)	9,6%	8,8%	9,7%	9,4%	7,2%
Crecimiento PIB Real (%)		5,06%	5,17%	5,73%	3,50%

Tabla 2: Previsiones sobre la evolución del PIB en Ecuador. Fuente: Ministerio de Finanzas.

No hay disponibles proyecciones del crecimiento del PIB Real más allá de 2014. Se ha supuesto que dicha tasa adoptará un valor de 4,0% en el año 2016 (ligeramente inferior a la media de los cuatro años anteriores), y que disminuirá de forma gradual hasta alcanzar el 2,5% en el año 2045. Este perfil de evolución presupone un importante desarrollo económico del país en los próximos 35 años, lo que supondrá unas menores tasas de crecimiento real del PIB (como sucede en los países desarrollados). Limitar el crecimiento real del PIB presenta además como ventaja limitar el valor del tiempo en el Análisis Coste Beneficio, lo que permite obtener resultados conservadores.

Para el ingreso medio en el DMQ son de interés las proyecciones efectuadas por Cal y Mayor en su "Estudio de demanda de transporte en el DMQ", y que se resumen en la siguiente tabla:

⁶ Plan Maestro de Movilidad, EPMOP.

Fase: F.3. Estudio de Factibilidad de la primera línea del Metro de Quito

Actividad: A.3.5. Estudio de Viabilidad Socio Económica

	Ingresos medios (USD/hab/mes)	Crecimiento anual*
2010	551	3,5%
2015	655	3,0%
2020	759	2,5%
2025	859	2,0%
2030	948	

Tabla 3: Evolución de los ingresos medios en el DMQ. Fuente: Cal y Mayor

* Se trata del crecimiento anual de los ingresos medios para el quinquenio que comienza en ese año

Debido a la importancia de este parámetro, se ha realizado una estimación del mismo para el presente análisis socio-económico. Se ha tomado como punto de partida la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de Hogares Urbanos (ENIGHU) realizada en 2004 por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador.

En el ENIGHU están disponibles el número de familias y los ingresos corrientes totales anuales de las mismas, para el año 2004. Tomando como dato adicional el número de trabajadores por familia, que es 1,6⁷, se pueden obtener los ingresos corrientes totales anuales de 2004 por trabajador, que resultan ser 4.441 USD de 2004/año. Dividiendo entre 12 y actualizando con la inflación (medida mediante la evolución de los precios al consumo) del Ecuador de los últimos años se obtiene un resultado de **473 USD de 2010/mes**, valor que se ha tomado como referencia en el análisis socio-económico.

El salario medio en términos reales se ha proyectado en el tiempo utilizando la evolución del PIB real per cápita, que se ha estimado en un 3,76% anual de media para los próximos 4 años. Dicha estimación se ha realizado a partir de las previsiones para la evolución del PIB real⁸ y el crecimiento de la población en el Ecuador⁹.

⁷ Fuente: UNMQ

⁸ Fuente: Ministerio de Finanzas. Las previsiones realizadas muestran una evolución anual promedio para los próximos 4 años para el PIB real de 4,87%.

⁹ Fuente: INEC. Se estima que en los próximos 4 años la población del Ecuador crecerá un promedio de 1,1% anual.

1.1.1.3. Administración y gobierno

La República del Ecuador se encuentra organizada en regiones, provincias, cantones y parroquias rurales¹⁰.

Existen además regímenes especiales conformados por distritos metropolitanos autónomos, la provincia de Galápagos y las circunscripciones territoriales indígenas.

Los distritos metropolitanos están compuestos por el cantón o conjunto de cantones que cuentan con un número de habitantes superiores al 7% de la población nacional.

El esquema se sustenta en la concepción del ejercicio descentralizado del gobierno. Se define de esta forma la descentralización de la gestión del Estado como la transferencia obligatoria, progresiva y definitiva de competencias con los respectivos talentos humanos y recursos financieros, materiales y tecnológicos, desde el gobierno central hacia los gobiernos autónomos descentralizados¹¹.

El gobierno y administración de la ciudad de Quito es responsabilidad del Alcalde, elegido por sufragio universal por un período, normalmente de 4 años. El Concejo Metropolitano es el órgano de legislación y fiscalización del gobierno metropolitano¹².

Existen 8 zonas administrativas para las parroquias urbanas y suburbanas:

- Zona La Delicia (Norte)
- Zona Eugenio Espejo (Centro Norte)
- Zona Manuela Sáenz (Centro)
- Zona Eloy Alfaro (Centro Sur)
- Zona Quitumbe (Sur)
- Zona Calderón
- Zona Tumbaco
- Zona Valle de los Chillos

¹⁰ Artículo 242 de la Constitución, y Artículo 10 del COOTAD

¹¹ Artículo 105 del COOTAD.

¹² Artículo 86 del COOTAD.

1.1.2. Descripción del problema

En el DMQ se estima que se producen en la actualidad 3,7 Millones de desplazamientos motorizados diarios, de los cuales el 45% utilizan el transporte individual y el 55% el transporte colectivo¹³.

El transporte en el Distrito Metropolitano de Quito ha sido durante los últimos años uno de los grandes retos a los cuales se ha enfrentado la ciudad. El crecimiento demográfico y económico experimentado en el pasado, junto con las características geográficas de la ciudad, han contribuido al aumento de los tiempos de desplazamiento de los ciudadanos.

Particularmente problemático resulta la existencia de un Hipercentro, origen o destino de un importante porcentaje de los desplazamientos motorizados diarios que se producen en Quito.

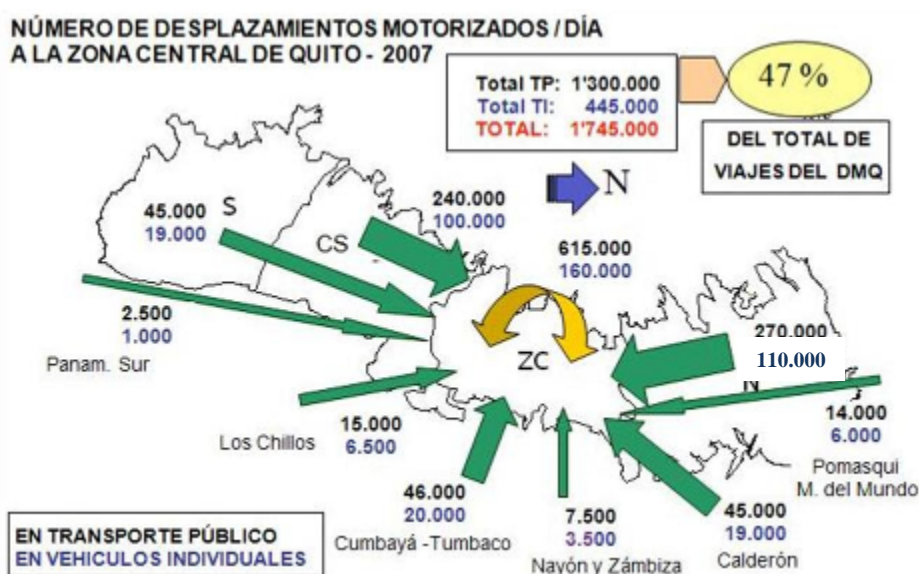


Ilustración 4: Desplazamientos Motorizados/día al Hipercentro. Fuente: DMT, 2007

Merece especial atención el considerable aumento del vehículo individual que se ha producido en los últimos años. El desarrollo económico que ha experimentado la ciudad, junto con la estabilidad proporcionada por la dolarización, han permitido a gran número de ciudadanos acceder a la compra financiada de vehículos. El parque vehicular particular se ha multiplicado por 2,3 en los últimos 8 años,

¹³ Estudio de movilidad, UTE Ecuador, 2011. Datos en días laborables.

pasando de 175,000 vehículos en 2002 a 405,300 en 2009¹⁴. Para 2025 se estima que el parque automotor (formado por vehículos de uso particular y de uso colectivo) tendrá 1,290,000 unidades¹⁵.

Para dar respuesta al problema de la movilidad en el Distrito Metropolitano de Quito, la Administración ha realizado en los últimos años un gran esfuerzo llevando a cabo numerosas iniciativas, entre las que cabe destacar:

- Un plan de movilidad, que tiene por principal objetivo el mejoramiento de las principales avenidas de la ciudad.
- La mejora del servicio de transporte público colectivo en superficie (del cual se habla con detalle en el apartado 1.1.2.1).
- La instauración del sistema "Pico y placa" para el vehículo particular.
- Los estudios encaminados a la implementación de un Sistema Integrado de Transporte Masivo para el DMQ, que tendría una línea de Metro como eje vertebrador del sistema.

1.1.2.1. Servicio de transporte colectivo preexistente

En la ciudad de Quito se producen actualmente 2.025.000 desplazamientos diarios en transporte colectivo, lo que supone un 55% del total de desplazamientos de la ciudad¹⁶.

Aproximadamente una cuarta parte de estos viajes (454,000 desplazamientos diarios) se producen a través del sistema de transporte urbano municipal. Este sistema está administrado directamente por el Municipio de Quito y se denomina "Sistema Metrobús – Q". Conforman el sistema:

- 4 corredores segregados por los que circulan buses articulados (sistema denominado en inglés Bus Rapid Transit o BRT). Componen el eje vertebral del sistema de transporte municipal:
 - Trolebús (línea verde)
 - Ecovía (línea roja)
 - Corredor Sur oriental
 - Corredor Central Norte (línea azul)

¹⁴ Centro de Investigaciones Económicas, Universidad de las Américas, Mayo 2010.

¹⁵ Plan Maestro de Movilidad de Quito.

¹⁶ Estudio de movilidad, Equipo de Movilidad y Demanda de Metro de Madrid, 2011.

- Líneas secundarias de buses que tienen por principal objetivo llevar pasajeros hasta el sistema de BRTs.

El 75% del transporte colectivo en Quito está en manos de operadores privados con un alto grado de atomización: 2,800 buses convencionales (la mayor parte propiedad de dueños diferentes), agrupados en 200 cooperativas¹⁷. Este sistema no dispone de una gestión profesional, además de carecer de planificación. Como resultado hay un deficiente servicio para el usuario.

1.1.3. Alternativas consideradas en estudios previos

Se han realizado varios estudios encaminados a la implementación de un sistema de transporte masivo de pasajeros en la ciudad de Quito. Resultan particularmente relevantes el “Estudio de demanda de transporte en el DMQ” realizado por Cal y Mayor en Agosto de 2008, y el documento “Estudio de prefactibilidad. Proyecto Sistema de Transporte Masivo por Ferrocarril Urbano en la Ciudad de Quito” realizado por la UNMQ en Octubre de 2010.

El objetivo declarado del estudio realizado por Cal y Mayor era *“...caracterizar la demanda actual, por tipo de medio, motivo y periodos de tiempo, así como hacer una primera evaluación de una política de movilidad basada en transporte público y gestión del tránsito”*. Se analizaron tres escenarios diferentes, incluyendo uno base (en el cual no se producen grandes inversiones en infraestructura), un escenario con importantes inversiones en un sistema BRT y otro en el que se implementa un tren ligero (TRAQ) en el corredor principal de la ciudad. Parte de la información de este estudio ha servido como fuente para la elaboración del escenario base considerado en el Análisis Coste Beneficio (ACB).

El trabajo realizado por la UNMQ presenta no obstante más interés, tanto por ser más reciente como por la calidad de los análisis efectuados. En dicho informe se realiza un estudio muy completo de la movilidad en el DMQ, los problemas previsibles y las posibles soluciones encaminadas a su resolución.

¹⁷Fuente: Estudio de prefactibilidad del Metro de Quito, UNMQ.

El análisis de la demanda realizado en dicho trabajo estima para el año 2010 un flujo de 28,000 pasajeros por hora y por sentido en el eje vertebral del Sistema Integrado de Transportación Masiva, que aumentará hasta los 48,000 pasajeros por hora y por sentido en el año 2030.

La UNMQ continúa realizando una revisión de los diferentes modos de transporte masivo existentes en la actualidad en otras ciudades. En el informe que se elaboró se incluía un gráfico que por su gran interés se reproduce a continuación:

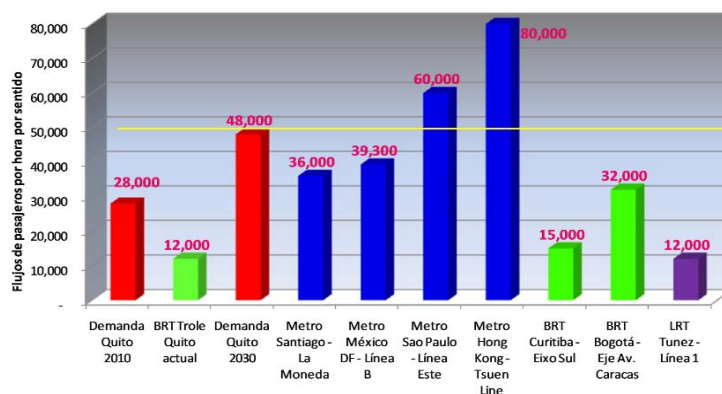


Ilustración 5: Capacidades de varias modalidades de transporte masivo.
Fuente: GTZ, Mass Transit Options Sustainable Transport: A Sourcebook for Policy-makers in Developing Cities, 2002

La conclusión obtenida es que ningún sistema tipo BRT o LRT podrá satisfacer adecuadamente la demanda prevista para Quito en el año 2030. Solamente un sistema tipo Metro puede resolver el problema de forma eficaz:

"...el tren metropolitano o metro es la única opción, de entre los sistemas de transporte masivo, capaz de convertirse en el eje central, articulador y vertebrador del SITM, y de transportar los volúmenes de pasajeros requeridos a las velocidades deseadas en la ciudad de Quito, más aún de cara a la demanda proyectada; no ocuparía el espacio actual de vías, que es altamente apreciado por la condición longitudinal de la ciudad y en algunos tramos incluso podría liberar espacios; y, es el único sistema que no paralizaría el tráfico en amplias zonas de la ciudad durante su desarrollo y construcción." (UNMQ, octubre de 2010, "Proyecto sistema de transporte masivo por ferrocarril urbano en la ciudad de Quito").

Como parte de los trabajos de prefactibilidad incluidos en el informe elaborado por la UNMQ cabe destacar el análisis socio-económico del proyecto de una línea de Metro en Quito, cuyo resultado se reproduce a continuación:

BENEFICIOS ECONOMICOS (MM US\$)	AMBITO	TOTAL
PRODUCTIVIDAD		179,14
Ahorro en tiempo	LOCAL	136,03
Incremento de velocidad	LOCAL	43,11
AHORRO EN CONSUMO ENERGETICO	NACIONAL	33,38
AHORRO EN REDUCCION DE ACCIDENTALIDAD	NACIONAL	25,93
REDUCCION EN COSTOS DE SALUD POR CONTAMINACIÓN	NACIONAL	7,47
REDUCCION DE EMISIONES (MDL)	NACIONAL	2,46
TOTAL PRIMER AÑO	-	248,38

VALOR ACTUAL DE LAS EXTERNALIDADES - 30 AÑOS (MM US\$)	TOTAL
	1.353,81
TASA DE DESCUENTO SOCIAL	12%

Tabla 4: Resumen de beneficios socio-económicos procedentes del Metro de Quito. Fuente: UNMQ

Se concluía por lo tanto que, con las hipótesis consideradas, los beneficios socio-económicos asociados al proyecto justifican la aportación de los recursos públicos requeridos.

1.1.4. Planificación del SITM en la ciudad de Quito

1.1.4.1. Concepto

El Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) está conformado por una armonización y adecuación de los diferentes medios públicos de transporte a la demanda de viajes en la ciudad de Quito.

Se considera necesario para ello conseguir una integración modal entre los diferentes modos de transporte público de la ciudad.

El eje vertebrador del sistema lo constituye una línea de Metro que se planea construir. Los sistemas tipo metro se fundamentan en la utilización de vías con total exclusividad, produciéndose una segregación del tráfico. Las vías pueden ser subterráneas, aéreas (con viaductos), en falso túnel, en trinchera y a nivel de superficie.

Este eje vertebral será complementado por una red de buses alimentadores, que faciliten el acceso a las futuras estaciones de

Metro desde las zonas de la ciudad que se encuentran alejadas de las mismas.

1.1.4.2. Objetivos

El principal objetivo del SITM es mejorar la movilidad en el DMQ con un sistema seguro, económico, rápido y ecológicamente sostenible.

Concretamente, con el SITM se espera alcanzar los siguientes objetivos:

- Aumentar la eficiencia y productividad del transporte público en Quito.
- Reducir el tiempo total de viajes de los usuarios.
- Mejorar la accesibilidad de los principales corredores viales.
- Aumentar la eficiencia energética en los ahorros en combustible.
- Mejorar la seguridad.
- Reducir la contaminación.
- Incrementar la competitividad y productividad de la ciudad.
- Ayudar a grupos socialmente desfavorecidos, mediante la implantación de una tarifa integral.

En capítulos posteriores del documento se ha realizado un análisis y valoración de cómo la implementación del SITM contribuirá a la consecución de estos objetivos.

1.1.4.3. Características técnicas del proyecto

El primer trazado considerado para la primera línea de Metro de Quito discurriría de Norte a Sur, desde La Ofelia hasta Quitumbe.

En la actualidad se consideran dos posibles alternativas para el proyecto:

- Alternativa 1: trazado de 28 km (La Ofelia-Quitumbe), construido en dos fases (22 km y 6 km respectivamente) separadas 5 años en el tiempo.
- Alternativa 2: trazado de 28 km (La Ofelia-Quitumbe) construido en una única fase.

Fase: F.3. Estudio de Factibilidad de la primera línea del Metro de Quito

Actividad: A.3.5. Estudio de Viabilidad Socio Económica

Las principales características técnicas del proyecto, en función de la alternativa, se resumen en la siguiente tabla:

	Alternativa 1	Alternativa 2
Longitud (km)	Fase I: 22 Fase II: 6	28
Estaciones	Fase I: 14 Fase II: 5	19
Flota de trenes (2016)	17 (6 coches/tren)	19 (6 coches/tren)
Flota de trenes (2020)	27 (6 coches/tren)	27 (6 coches/tren)
Velocidad comercial (km/h)	37,5	37,5
Demanda (2016 – viajeros / día laborable)	356.252	493.572
Demanda (2020 – viajeros / día laborable)	538.003	538.003
Infraestructura e instalaciones (MM USD de 2010 precio de mercado)	Fase I: 1.113 Fase II: 268	1.381
Material móvil (MM USD de 2010 precio de mercado)	Fase I: 182 Fase II: 107	289
Inversión total (Sin estudios ni asistencia técnica MM USD de 2010)	Fase I: 1295 Fase II: 375	1670

Tabla 5: Características técnicas del proyecto según la Alternativa considerada.

En el siguiente plano se adjunta el trazado provisional de la futura línea de Metro, considerando una longitud de 28 km.

1.1.4.4. Análisis del tráfico previsto y su impacto en otros modos de transporte

Como parte de los diferentes estudios de factibilidad de la primera línea del Metro de Quito, destacan los de movilidad y demanda realizados *ad hoc* para este trabajo.

Los principales resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

Año	Procedencia	Alternativa 1	Alternativa 2
2016 (viajeros /día laborable)	Vehículo privado y taxi	36.512	48.977
	Transporte público	310.834	432.225
	Inducción	8.906	12.370
	TOTAL	356.252	493.572
2020 (viajeros /día laborable)	Vehículo privado y taxi	54.604	54.604
	Transporte público	456.499	456.499
	Inducción	26.900	26.900
	TOTAL	538.003	538.003

Tabla 6: Demanda estimada en función de la alternativa considerada. Fuente: Equipo de Movilidad y Demanda, Metro de Madrid.

El factor de conversión para el paso a viajeros en día laborable medio a viajeros anuales es 305.

La mayoría de los futuros usuarios del Metro utilizan en la actualidad el transporte colectivo (aproximadamente un 85% de la demanda estimada). La captación de usuarios del transporte individual (coche y taxi) se sitúa en todas las alternativas alrededor del 10%. El 5% restante corresponde a nuevos viajes (inducción), que no existirían de no construirse el Metro.

El crecimiento de la demanda depende del escenario considerado. En el siguiente gráfico se muestran las tasas de crecimiento esperadas:



Ilustración 7: Evolución de la demanda del Metro para las 2 Alternativas. Fuente: Equipo de Movilidad y Demanda de Metro de Madrid.

Se observa un fuerte periodo de crecimiento el primer año de entrada en funcionamiento del servicio. Se trata del fenómeno conocido como "*ramp-up*", y que aparece en todas las infraestructuras de nueva creación. En el caso del metro de Quito, se considera que este *ramp-up* se producirá fundamentalmente por la aparición paulatina del tráfico inducido. Posteriormente el crecimiento se modera en el tiempo, para situarse entre el 1,5% y el 1% hasta el año 2045.

1.2. OBJETIVO DEL ESTUDIO

El objetivo del presente estudio es analizar en qué medida está justificada la aportación de recursos públicos al proyecto de la primera línea del Metro de Quito. Para ello se ha analizado el impacto del proyecto en el desarrollo sostenible de la región, midiendo su contribución al triple balance (social, económico y medioambiental) del Sistema Integrado de Transporte Masivo de Quito.

La teoría económica clásica asigna a la Administración Pública el uso de unos recursos escasos para conseguir el máximo bienestar de la sociedad en su conjunto. La optimización de dichos recursos debería estar basada en unos objetivos acordados, cuya definición y establecimiento es una tarea complicada.

La cuantificación de los efectos del proyecto en relación con los objetivos que se fija la Administración, que resulta muy útil para la comparación de alternativas, es el elemento técnico clave de un estudio socio-económico y requiere una cierta experiencia. El aspecto más complicado de la evaluación consiste en cómo integrar la información disponible sobre el alcance de los objetivos para fundamentar la toma de decisiones sobre la mejor alternativa disponible y sus características.

El análisis de viabilidad socio-económica se realiza desde la óptica de los beneficios y costes del proyecto para la sociedad en su conjunto. Por tanto, junto a los ingresos y costes del proyecto valorables a precio de mercado, se introducen otros beneficios y costes calculados a partir de las técnicas disponibles para la estimación de precios sombra, y en particular, cuando es posible, mediante las técnicas utilizadas por las entidades multilaterales.

Tras la descripción del origen y las razones para acometer el proyecto, así como el diagnóstico de la situación actual de la movilidad en Quito, se han realizado dos análisis diferentes:

- Un Análisis Coste Beneficio (ACB) o cuantitativo.
- Un análisis cualitativo.

1.3. ASPECTOS METODOLÓGICOS DEL ESTUDIO DE VIABILIDAD SOCIO-ECONÓMICA

Para la elaboración del estudio de viabilidad socio-económica del proyecto se han realizado los siguientes análisis:

- Un Análisis Coste-Beneficio (ACB) tradicional, en el que se han considerado los beneficios y costes del proyecto cuantificables monetariamente, aunque sea de forma indirecta, mediante las técnicas de precios sombra.

El ACB comienza con la definición de la Alternativa Base o Alternativa sin proyecto. Dicha Alternativa no consiste únicamente en la descripción de la situación actual, sino que incluye una proyección de la situación que se daría en ausencia del proyecto. Por ejemplo, el crecimiento esperable del tráfico

en vehículo particular llevaría a un empeoramiento de la congestión en el transporte urbano en la ciudad de Quito, o a mayores niveles de contaminación.

A continuación se ha modelizado el escenario con proyecto, que adopta parámetros diferentes para cada una de las 3 Alternativas estudiadas. En los escenarios con proyecto no se han considerado los beneficios y costes derivados de la reordenación del transporte colectivo en superficie, por exceder el ámbito del presente trabajo.

Posteriormente se han realizado, sobre la base de dichos escenarios, una serie de análisis encaminados a determinar los efectos que la realización del proyecto tendría previsiblemente en el DMQ, tanto a nivel económico como social.

Se ha prestado especial atención a los ahorros de tiempo para los usuarios del Metro y a la reducción de externalidades negativas como las siguientes: congestión del tráfico en superficie, accidentabilidad, contaminación atmosférica y emisiones de gases de efecto invernadero.

Los principales costes del proyecto están conformados por la inversión y reinversión en infraestructura y material móvil, los gastos de operación y mantenimiento, y las molestias que generarán las obras.

Para el balance entre costes y beneficios se ha utilizado como criterio básico el Valor Actualizado Neto (VAN) de la corriente de costes y beneficios sociales del proyecto a lo largo de un período prolongado de tiempo, que se ha tomado de treinta y cinco años. Hay que señalar que en este estudio todos los beneficios y costes se han expresado en **USD constantes de 2010**. Como tasa de descuento social se ha utilizado una tasa del **12% en términos reales**, que se ajusta a la utilizada habitualmente en este tipo de estudios en América Latina. En el cálculo de beneficios y costes sociales se han realizado los oportunos ajustes (por impuestos y otros) que permiten valorar el coste de oportunidad social de los recursos utilizados en el proyecto. Adicionalmente, se han calculado otros indicadores o

ratios del proyecto, como son la TIR¹⁸ económico-social del proyecto, el ratio beneficio-coste y el período de retorno o de recuperación de la inversión. El ACB se completa con un estudio de la sensibilidad de los resultados a variaciones en parámetros clave del modelo, como la tasa social de descuento, el valor del tiempo para los usuarios, el coste de la inversión, etc.

- Un Análisis en el que se tienen en cuenta, adicionalmente, otros impactos socio-económicos del proyecto que necesitan para su estimación de un juicio de valor por parte del analista. En particular, se estudia el impacto del proyecto sobre la creación de empleo de calidad, tanto en la fase de construcción de la obra como en la fase de explotación. Este tipo de impactos no es considerado en el ACB tradicional, pero sí puede ser significativo y debe ser considerado en un estudio socio-económico de carácter amplio. En cualquier caso, son impactos de naturaleza distinta a los del ACB y son tratados de forma diferenciada.

Se han realizado los cálculos correspondientes a las tres alternativas descritas con anterioridad.

En el presente documento se presenta el cálculo detallado de la Alternativa 1 (construcción del Metro en dos fases), adjuntándose únicamente un resumen de los resultados obtenidos para la Alternativa 2.

¹⁸ Tasa Interna de Retorno: se trata de la tasa de descuento para la cual el VAN del proyecto es igual a cero.

2. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

A pesar del gran trabajo y esfuerzo desarrollado por el Municipio de Quito para mejorar la movilidad en el DMQ, el aumento en cantidad y calidad de infraestructura vial no ha podido acompañar el gran crecimiento de la demanda de transporte.

Quito se sitúa entre las ciudades ubicadas en países emergentes con menor superficie vial por km². Un estudio realizado por Ingram y Liu en 1998 concluye que la saturación de vías urbanas se produce cuando existen menos de 23 km lineales de dichas vías por km². En Quito existen 2,4 km de vías urbanas por km².

Variables de movilidad	Quito	Países en vías de desarrollo
Vehículos / 1000 habitantes	190	100
Km de vía / km ²	2,4	5,9
Vehículos / km de vía	102	85

Tabla 7: Parque automotor e infraestructura vial. Fuente: BID (2009), Banco Mundial (2000), Ingram y Liu (1997)

La combinación de una alta demanda de transporte, una insuficiente infraestructura vial, una importante motorización y escasas alternativas de movilidad no motorizada contribuyen a que la ciudad de Quito tenga en la actualidad importantes problemas de congestión vehicular. El resultado es elevados tiempos de desplazamiento, altas tasas de accidentalidad y altos niveles de contaminación ambiental.

Si bien todos estos efectos serán analizados en capítulos posteriores del presente documento, es importante poner ahora de manifiesto la gran pérdida de productividad que sufre la ciudad por efecto de la congestión. El crecimiento de la población en la periferia, junto con la concentración de empresas y equipamientos en el Hipercentro, hacen que una gran parte de los quiteños necesite cerca de una hora para trasladarse a un sitio de recreación, y hasta dos horas para llegar a un sector con servicios públicos, instituciones educativas y empleos¹⁹.

¹⁹ EMDUQ, 2009

Fase: F.3. Estudio de Factibilidad de la primera línea del Metro de Quito

Actividad: A.3.5. Estudio de Viabilidad Socio Económica

Sector	Población (%)	Empresas (%)	Equipamientos (%)				Tiempo medio viaje (min.)
			Educativos	Administración	Salud	Cultura	
DMQ	100	100	100	100	100	100	50
Periferia Norte	20	10	14	6	15	20	53
Centro Norte	34	60	51	72	49	35	42
Periferia Sur	35	22	26	12	30	34	49
Valles	11	8	9	10	6	11	77

Tabla 8: Distribución de población, empresas y servicios, y tiempos de desplazamiento. Fuente: BID con base en datos del Centro de Población y Vivienda de 2001 (INEC)

Es previsible además que esta situación se agrave en el futuro, con una disminución importante de la velocidad media de los vehículos en Quito.

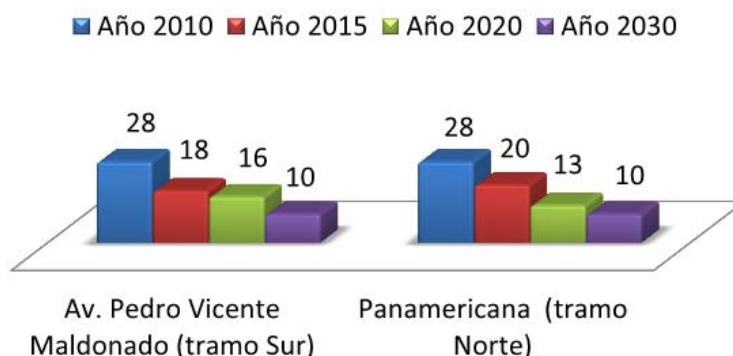


Ilustración 8: Estimación de la velocidad media de los vehículos particulares en Quito. Fuente: Cal y Mayor, 2008

Como medida paliativa para esta situación el Alcalde Metropolitano de Quito, Dr. Augusto Barrera, tomó la decisión a principios de 2010 de instaurar un sistema de restricción a la circulación de vehículos particulares. Se trata de un programa "Pico y Placa", que prohíbe en días laborables la circulación del 20% de los vehículos en la ciudad durante las horas con mayor tráfico.

3. PROYECCIÓN DE LOS ESCENARIOS SOCIALES SIN Y CON PROYECTO

Metodológicamente, el Análisis Coste Beneficio compara los resultados que se obtienen en dos escenarios, uno sin la realización

del proyecto, y otro que contempla la ejecución de la primera línea del Metro de Quito.

En este apartado se analiza en primer lugar la evolución de los parámetros que se estima serán iguales en ambos escenarios. A continuación se realiza una descripción de dichos escenarios y los principales parámetros asociados a los mismos.

El periodo durante el cual se extenderá el análisis empieza en el año 2010 y termina en el año 2045.

Hasta el año 2015, incluido éste, las únicas diferencias entre las alternativas (caso base, y construcción del Metro de Quito) son las inversiones en la construcción de la primera línea de Metro de Quito, que tendrán lugar desde el año 2012 hasta el año 2015. En la Alternativa 1 existe además una inversión adicional en el periodo 2017-2019, correspondiente a la Fase II del proyecto.

El proceso que se ha seguido para la modelización de los escenarios base y con proyecto se ha esquematizado en la siguiente ilustración:

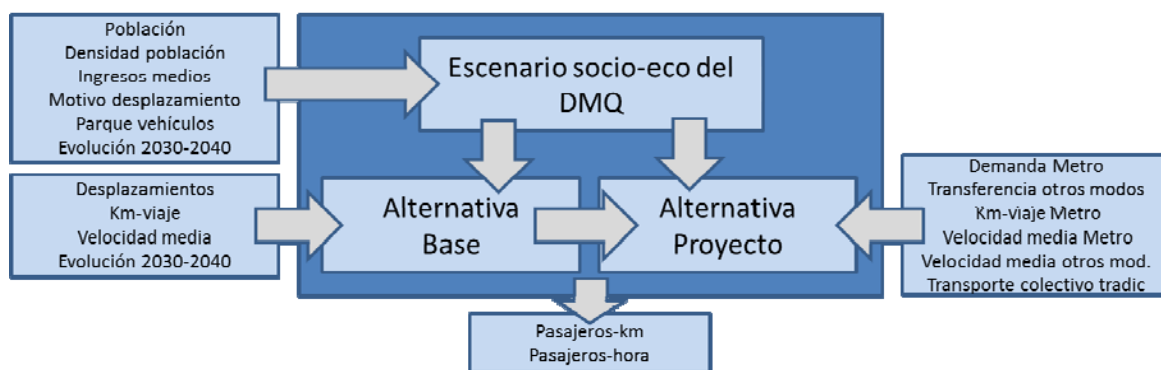


Ilustración 9: Esquema de la modelización de la alternativa base y la alternativa con proyecto.

3.1. PROYECCIÓN DE LOS ESCENARIOS SOCIALES SIN Y CON PROYECTO

Los dos escenarios comparten en principio una misma evolución de ciertos parámetros: la población y su densidad en el DMQ, los ingresos medios en el DMQ, las distancias medias recorridas por viaje y modo de transporte y el motivo del desplazamiento.

Esto equivale a tomar como hipótesis que la realización del proyecto no afectará a la evolución de dichos parámetros, lo cual constituye una simplificación que si bien no es del todo cierta, puede considerarse suficientemente aproximada a la realidad.

En los apartados que siguen se ha descrito la evolución de dichos parámetros en el DMQ, indicando las fuentes utilizadas y las hipótesis adicionales formuladas.

3.1.1. La población y su densidad

Las proyecciones poblacionales hasta el año 2040 incluido son las descritas en el apartado 1.1.1.1. "Aspectos demográficos" del presente estudio, y se fundamentan principalmente en las estadísticas del INEC y el análisis realizado por el Equipo de Movilidad y Demanda de Metro de Madrid.

Con estas hipótesis se obtiene la siguiente evolución de la población y su densidad:

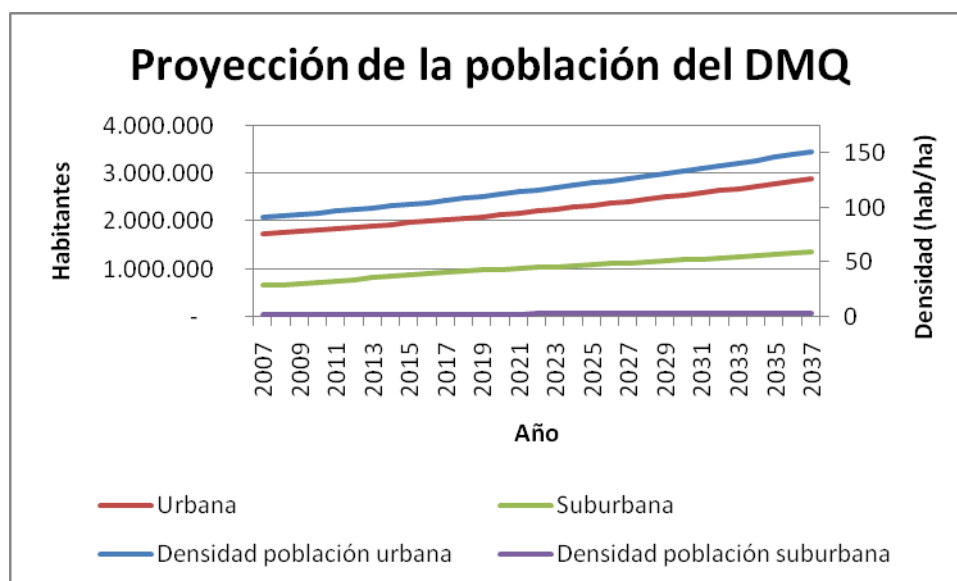


Ilustración 10: Proyección de la población del DMQ. Fuente: Equipo de Movilidad y Demanda de Metro de Madrid.

En el año 2040 se alcanzarán los 4,2 Millones de habitantes en el DMQ, igualándose la tasa de crecimiento en las zonas suburbanas con la de las zonas urbanas.

Destaca la baja densidad poblacional en las zonas suburbanas, muy por debajo de la correspondiente a las zonas urbanas.

3.1.2. Los ingresos medios en el DMQ

Las proyecciones de los ingresos medios en el DMQ hasta el año 2030 incluido son las descritas en el apartado 1.1.1.2. "Aspectos económicos" del presente estudio.

Se ha partido de unos ingresos medios de 473 USD/mes por persona que trabaja en 2010, con un crecimiento igual a la evolución del PIB real per cápita.

Se ha supuesto que el crecimiento del PIB real del Ecuador será del 4% en el año 2015 y del 2,5% en el año 2045, prorrateándose en los años intermedios. El crecimiento del PIB real per cápita que se obtiene, una vez descontada la tasa de crecimiento de la población en ese periodo, pasa gradualmente del 2,91% en 2015 al 2,04% en 2045.

La evolución de los ingresos medios en el DMQ y las tasas de crecimiento aplicadas se reflejan en la siguiente ilustración:

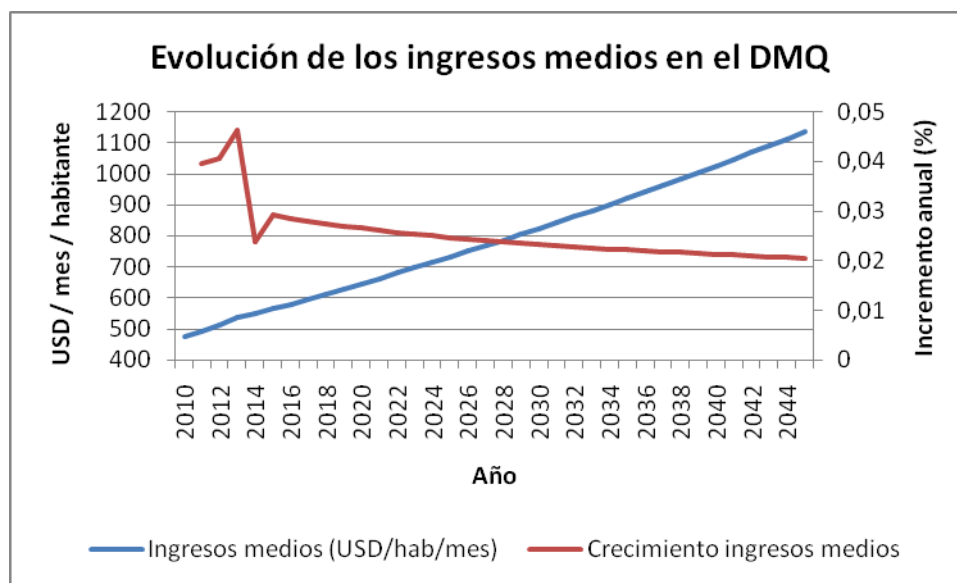


Ilustración 11: Evolución de los ingresos medios en términos reales en el DMQ. Fuente: Cal y Mayor, CEPAL, elaboración propia

Los ingresos medios se multiplicarán por 2,4 en términos reales en los próximos 35 años, lo que supone sin duda un desarrollo considerable, a pesar de las moderadas tasas de crecimiento del PIB per cápita que se han tomado.

3.1.3. Kilómetros por viaje y modo de transporte promedio

Se ha tomado como hipótesis que la distancia recorrida por los viajeros, independientemente de la modalidad empleada, no varía en función del escenario.

Para las proyecciones de los km/viaje realizados se ha tomado como base los datos obtenidos en el escenario E1 descrito en el "Estudio de demanda de transporte en el DMQ" elaborado por Cal y Mayor y Asociados en agosto de 2008. Las proyecciones llegan hasta el año 2030.

Para el periodo 2030-2040 se ha supuesto una evolución en el parámetro similar a la de los últimos 10 años, lo que supone el

estancamiento en el transporte individual (0,0% anual), y un ligero crecimiento en el transporte colectivo convencional (+0,5% anual).

La distancia media recorrida en los viajes en Metro se estima en 10,1 km/viaje para un trazado de 22 km de longitud, y 10,7 km/viaje para un trazado de 28 km de longitud²⁰.

La evolución de los km/viaje, para los tres modos de transporte disponibles en el DMQ, se refleja en la siguiente ilustración²¹:

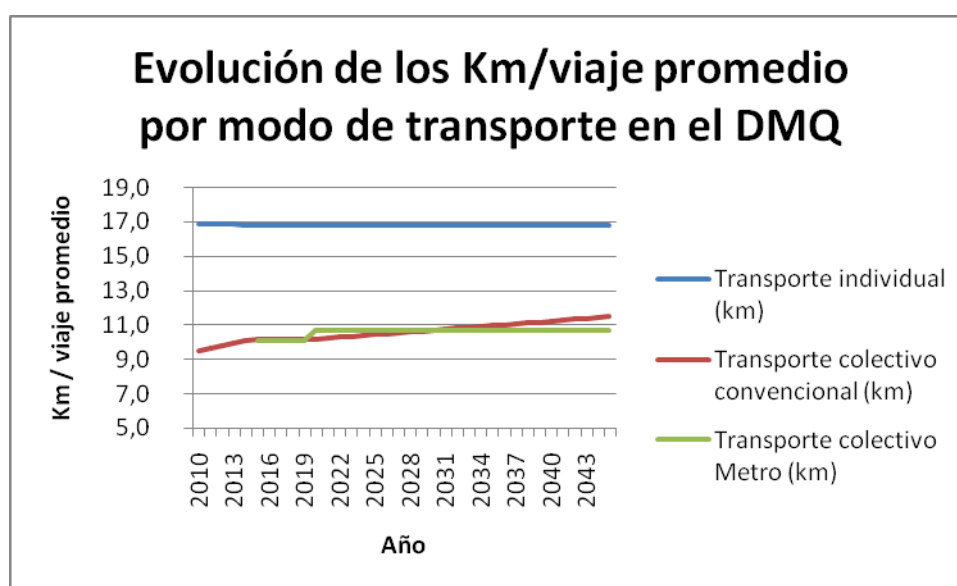


Ilustración 12: Evolución de los Km/viaje promedio por modo de transporte en el DMQ: Fuente: Cal y Mayor, elaboración propia.

3.1.4. Motivo del desplazamiento

El motivo del desplazamiento (trabajo, estudio, compras, etc.) tiene gran importancia a la hora de valorar económicamente el tiempo empleado en el desplazamiento²².

En el análisis realizado se han tomado los datos procedentes del estudio de Cal y Mayor (2008), que reparten el número total de viajes de la siguiente forma:

²⁰ Fuente: Equipo de Movilidad y Demanda de Metro de Madrid.

²¹ Los km/viaje recorridos en Metro corresponden a la Alternativa 1.

²² Véanse algunas de las metodologías para la valoración del tiempo descritas en el apartado 4.4.2.1.1.

- Trabajo: 38%
- Estudio: 24%
- Compras: 23%
- Otros motivos: 15%

Se ha considerado que estos porcentajes se mantienen constantes para todos los años horizonte, al igual que sucede en el estudio de Cal y Mayor.

Se considera igualmente que esta distribución de los viajes es uniforme por modo de transporte.

3.2. ESTUDIO DEL ESCENARIO BASE (SIN PROYECTO)

El escenario base es por definición aquél en el que se toman las medidas oportunas para conseguir los objetivos en ausencia de iniciativas o inversiones de magnitud importante (por ejemplo, no realizar inversión alguna, o realizar sólo la inversión mínima que permite mantener el stock de capital).

Una buena definición del escenario base es de gran importancia en todo análisis coste-beneficio, pues representa la referencia ante la cual se comparan las diversas alternativas. Así, la valoración de costes y beneficios de cualquier actuación debe realizarse en términos relativos a los costes y beneficios del escenario base.

En este apartado se ha realizado una evaluación de la demanda de transporte en la ciudad de Quito hasta el año 2045 incluido.

Entre las fuentes utilizadas para la realización de este escenario destacan el Plan Maestro de Movilidad de la ciudad de Quito realizado por la Gerencia de Planificación de la Movilidad EMMOP-Q en 2007, el "Estudio de Demanda de Transporte en el DMQ" realizado por Cal y Mayor y Asociados en Agosto de 2008 (escenario E1) y los trabajos realizados por el Equipo de Movilidad y Demanda de Metro de Madrid.

El objetivo del capítulo es obtener unos parámetros básicos para la demanda del transporte, que son utilizados posteriormente como

datos de entrada en los modelos desarrollados en el Análisis Coste Beneficio. Los principales parámetros que definen este escenario son los siguientes:

- Número de desplazamientos
- Pasajeros – km
- Pasajeros – hora
- Velocidad media
- Tiempo de viaje

En los siguientes sub-apartados se detalla la evolución de estos parámetros, así como las hipótesis que se han tomado para la realización de las estimaciones.

3.2.1. Número de desplazamientos

Se han tomado los desplazamientos obtenidos por el equipo de movilidad y demanda de Metro de Madrid para el DMQ²³:

- Transporte colectivo: 2.025.000 etapas/día laborable.
- Transporte individual: 1.750.000 viajes/día laborable, que se dividen en:
 - Transporte privado: 1.250.000 viajes/día.
 - Taxi: 500.000 viajes/día.

Para la evolución de estos parámetros en el tiempo se ha considerado también los datos proporcionados por el equipo de movilidad y demanda de Metro de Madrid.

Los resultados se adjuntan en la siguiente ilustración, en la que se refleja el número de viajes en transporte individual y en transporte colectivo.

²³ Entregable E-2.4.

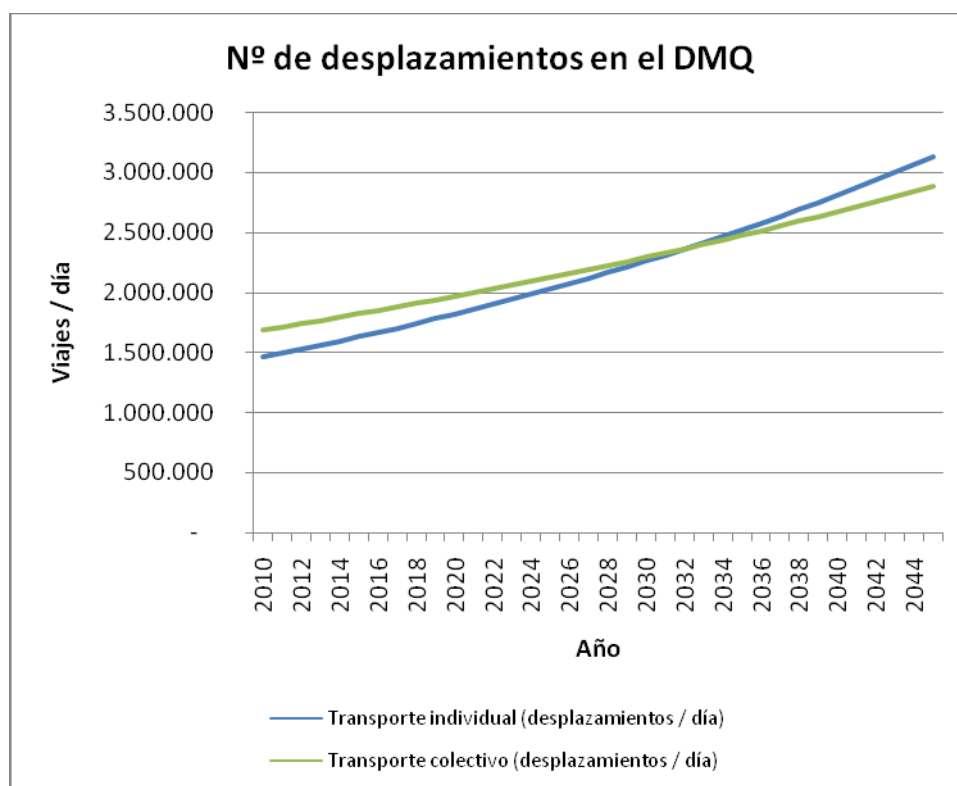


Ilustración 13: N° de desplazamientos en el DMQ en el escenario base.
Fuente: equipo de Movilidad y Demanda de Metro de Madrid.

En el año 2010 se estima que se han producido 1.151 Millones de desplazamientos, de los cuales el 54% se habrían producido en transporte colectivo y el 46% en transporte individual.

Para el año 2045, el número de desplazamientos aumentará hasta los 2.196 Millones. El mayor crecimiento previsible en el transporte individual hará que el reparto modal se invierta: el 52% de dichos desplazamientos será en transporte individual, y el 48% en transporte colectivo²⁴.

3.2.2. Pasajeros - km

La estimación de los pasajeros-km se realiza multiplicando el número de desplazamientos por el número de km/viaje para un mismo año.

Los resultados se adjuntan en la siguiente ilustración:

²⁴ El equilibrio en el número de viajes de ambos modos de transporte (50% en vehículo particular y 50% en transporte colectivo) se produce en el año 2031.

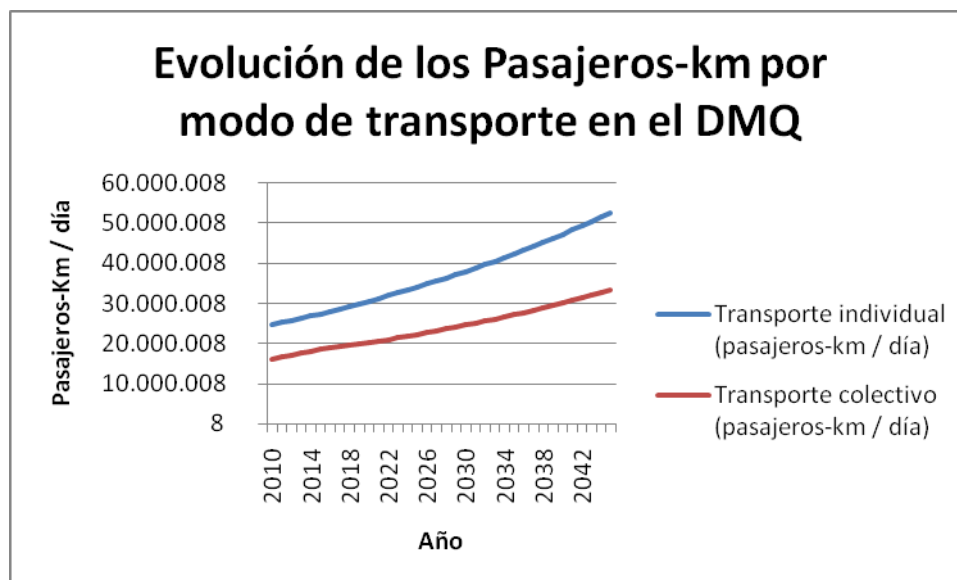


Ilustración 14: Evolución de los Pasajeros-Km por modo de transporte en el DMQ en el escenario base. Fuente: Elaboración propia.

En el año 2010 hay un total de 40,8 Millones de pasajeros-km / día natural (14.888 Millones de pasajeros-km/año), de los cuales el 61% se realiza en transporte individual. Esto se debe a que la distancia promedio de un viaje en transporte individual (16,9 km en 2010) es superior a la de un desplazamiento en transporte colectivo (9,5 km en 2010).

Para el año 2045 se estima que se producirán un total de 85,6 Millones de pasajeros-km/día natural (31.302 Millones de pasajeros-km/año). El 61% será en transporte individual.

3.2.3. Pasajeros – hora

La estimación de los pasajeros-hora se ha realizado dividiendo el número de pasajeros-km entre la velocidad promedio del modo de transporte para un mismo año.

Los resultados se adjuntan en la siguiente ilustración:

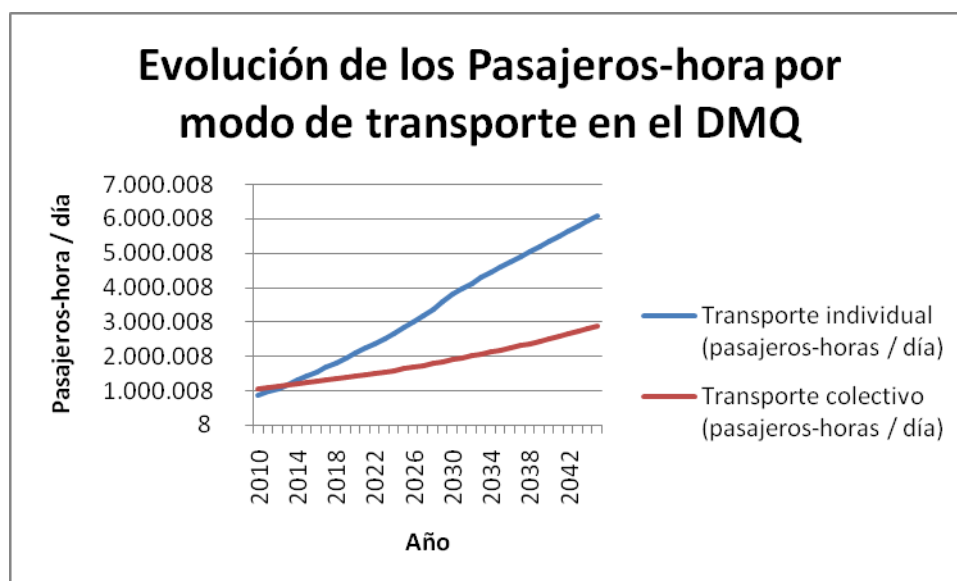


Ilustración 15: Evolución de los Pasajeros-hora por modo de transporte en el DMQ en el escenario base. Fuente: Elaboración propia.

La previsible disminución en la velocidad del transporte individual hace que aumente considerablemente el tiempo de desplazamiento en este modo de transporte.

Se pasaría de un total de 1,9 Millones de pasajeros-hora/día natural en 2010 (de las que un 46% corresponden al transporte individual) a una situación con 9,0 Millones de pasajeros-hora/día natural en 2045 (de las que un 68% corresponden al transporte individual)²⁵.

3.2.4. Velocidad media

Se ha tomado como referencia el documento "Estudio de Demanda de Transporte en el DMQ" realizado por Cal y Mayor y Asociados en Agosto de 2008. El estudio comprende una estimación de la velocidad media por modo de transporte en el DMQ hasta el año 2030.

En dicho estudio, la velocidad del vehículo particular en 2010 se estima en 43,9 km/h. Con los actuales niveles de congestión dicho valor es claramente excesivo.

²⁵ Estos números se obtienen dividiendo los pasajeros-km descritos en el apartado 3.2.2 entre las velocidades medias por modo de transporte del apartado 3.2.4 (para el año 2010, $1,9 = 24,7/28 + 16,1/15,5$)

En el ajuste del modelo realizado *ad hoc* por el equipo de movilidad y demanda de Metro de Madrid, las funciones para relacionar tiempos en transporte público con tiempos de transporte particular adoptan valores próximos a 1,5. La velocidad del coche debería ser alrededor de un 50% más elevada que la del transporte colectivo.

Finalmente se ha adoptado para el transporte individual la media de las velocidades en la Avenida Pedro Vicente Maldonado y la Panamericana Norte. Se dispone de proyecciones de dichos valores para los años 2010, 2015, 2020 y 2030, efectuadas por Cal y Mayor (véase la Ilustración 7).

Para el periodo 2030-2045, se han tomado las siguientes hipótesis:

- Transporte individual: empeoramiento continuo de la velocidad de circulación, pero con tasas negativas que se van moderando (pasando de -3,6% en el periodo 2020-2030, a -1,8% en el periodo 2031-2035, -0,9% en el periodo 2036-2040 y -0,5% en el periodo 2041-2045).
- Transporte colectivo: se consideran dos sistemas de transporte público, que evolucionan de forma diferente:
 - Sistema Municipal de transporte colectivo: se ha tomado una velocidad media de 20km/h en 2010²⁶. Se considera además que dicha velocidad media permanece constante en el periodo de estudio (gracias a la existencia de plataformas reservadas).
 - Sistema privado de transporte colectivo: se ha tomado una velocidad media de 14km/h en 2010²⁷. Debido al progresivo empeoramiento del tráfico, la velocidad media se va reduciendo hasta coincidir con la velocidad media del automóvil en el año 2045.

Los resultados se adjuntan en la siguiente ilustración, en la que se refleja la evolución de la velocidad media en transporte individual y colectivo:

²⁶ Fuente: Plan Maestro de Movilidad del DMQ (2007)

²⁷ Fuente: Plan Maestro de Movilidad del DMQ (2007)

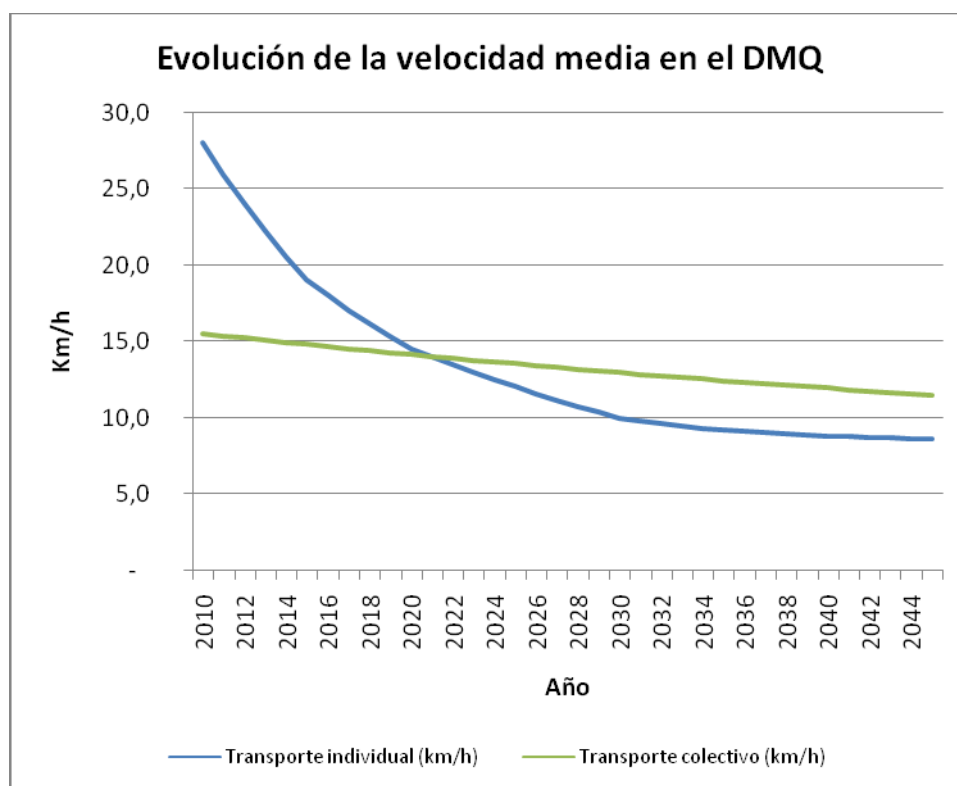


Ilustración 16: Evolución de la velocidad media por modo de transporte en el DMQ en el escenario base. Fuente: Elaboración propia.

Con estos datos, la velocidad del transporte colectivo será superior a la velocidad del transporte individual a partir del año 2021.

3.2.5. Tiempo de viaje

La estimación del tiempo de viaje se realiza dividiendo los km/viaje promedio entre la velocidad promedio del modo de transporte para un mismo año.

Los resultados se adjuntan en la siguiente ilustración:

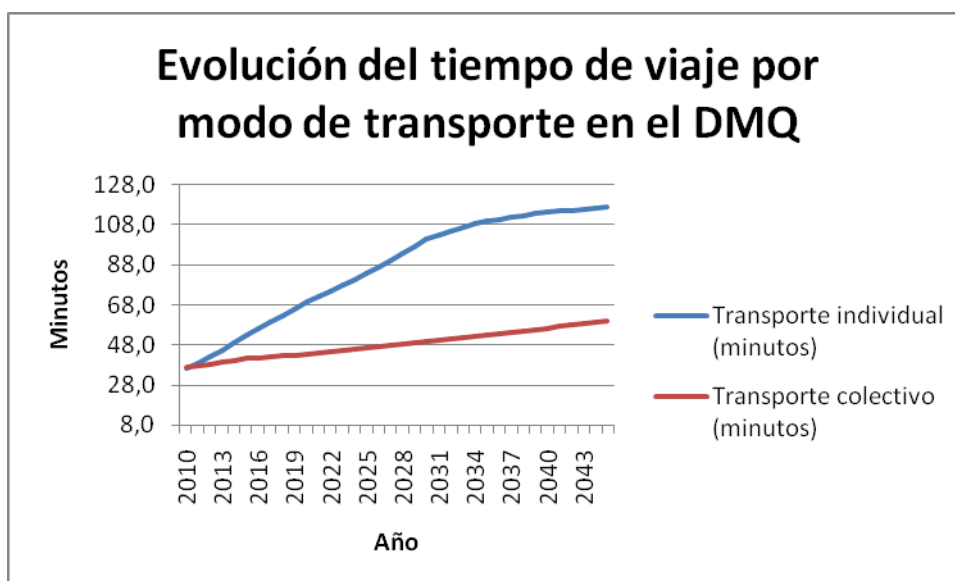


Ilustración 17: Evolución del tiempo de viaje por modo de transporte en el DMQ en el escenario base. Fuente: Elaboración propia.

Para el transporte colectivo el tiempo de viaje pasa de 36,8 minutos en 2010 a 60,1 minutos en 2045²⁸.

Para el transporte individual el tiempo de viaje se multiplica por tres en los próximos 35 años, pasando de 36,2 minutos por viaje en 2010 a casi dos horas en 2045. La explicación está en la importante disminución en la velocidad media, como consecuencia del aumento del parque de vehículos y de la congestión que provoca.

3.3. ESTUDIO DEL ESCENARIO CON PROYECTO

En este apartado se realiza una evaluación de la demanda de transporte en la ciudad de Quito hasta el año 2045 incluido, suponiendo que se construye la primera línea del Metro de Quito.

Como se comentó con anterioridad se consideran 3 Alternativas posibles para el proyecto del Metro de Quito. Cada alternativa tiene una demanda diferente, y afecta de forma desigual a la movilidad en el DMQ. En este apartado se expone la metodología seguida para la

²⁸ Este tiempo de viaje no tiene en cuenta el tiempo de acceso al sistema, ni los tiempos de espera.

modelización del escenario con proyecto, y los resultados obtenidos en el caso de la Alternativa 1.

El escenario de la alternativa con proyecto se ha construido a partir del escenario base, tomando además las siguientes hipótesis:

- El número de viajeros que utilizan el Metro es obtenido del estudio de demanda elaborado por el equipo de movilidad y demanda de Metro de Madrid.
- Los viajeros de Metro son antiguos usuarios de otros modos de transporte (transporte individual o transporte colectivo convencional). Existe no obstante una pequeña demanda inducida (viajes que no existirían sin el Metro).
- Los viajeros de Metro combinan este modo de transporte con el transporte individual y el transporte colectivo convencional.

El objetivo del capítulo es obtener unos parámetros básicos para la demanda del transporte en la alternativa con proyecto, que son utilizados posteriormente como datos de entrada en los modelos desarrollados en el Análisis Coste Beneficio.

En el estudio del escenario con proyecto se han considerado exclusivamente los beneficios y costes que introduce la línea de Metro que es objeto de valoración. No se contemplan los efectos positivos o negativos ocasionados por una reordenación global del transporte colectivo en superficie, por exceder el ámbito del presente estudio.

Los principales parámetros que definen este escenario son los siguientes:

- Número de desplazamientos
- Pasajeros – km
- Pasajeros – hora
- Velocidad media
- Tiempo de viaje

En los siguientes sub-apartados se detalla la evolución de estos parámetros, así como las hipótesis que se han tomado para la realización de las estimaciones.

3.3.1. Número de desplazamientos

El número de desplazamientos coincide con el del escenario base (si no se consideran los viajes inducidos por el Metro), si bien se produce una reestructuración en el reparto modal de los viajeros.

El número total de viajeros por modo de transporte se calcula de la siguiente forma:

- Transporte individual: El número de desplazamientos/día para un año es igual al número de desplazamientos en el caso base menos los desplazamientos transferidos al Metro.
- Transporte colectivo convencional: El número de desplazamientos/día para un año es igual al número de desplazamientos en el caso base menos los desplazamientos transferidos al Metro.
- Transporte colectivo Metro: El número total de desplazamientos/día para un año se obtiene del estudio de demanda realizado por el equipo de movilidad y demanda de Metro de Madrid:
 - Demanda del Metro en 2016 en la Alternativa 1 (1^{er} año de explotación):
 - Número de viajeros/año: 108,7 Millones de pasajeros.
 - Procedencia de los viajeros: 10,25% de coche y taxi, 87,25% del transporte público, 2,50% viajes de nueva creación.
 - Demanda del Metro en 2020:
 - Número de viajeros/año: 164,1 Millones de pasajeros.
 - Procedencia de los viajeros: 10,15% de coche y taxi, 84,85% del transporte público, 5,00% viajes de nueva creación.
 - Crecimiento de la demanda:
 - Periodo 2016-2020 (Alternativa 1): +1,5% anual (sin considerar *ramp-up* ni adición de Fase II).
 - Periodo 2021-2045: +1,64% anual en 2021 y 1,22% en 2045, prorrateándose en los años intermedios.

Fase: F.3. Estudio de Factibilidad de la primera línea del Metro de Quito

Actividad: A.3.5. Estudio de Viabilidad Socio Económica

En la siguiente tabla se recoge la demanda estimada por el equipo de movilidad y demanda para la Alternativa 1, en viajeros/día laborable:

	2016	2020	2025	2030	2035	2040
Vehículo privado y taxi	36.512	54.604	60.813	67.729	74.490	81.926
Transporte público	310.834	456.499	492.549	528.599	563.625	598.652
Inducción	8.906	26.900	29.124	31.386	33.585	35.820
TOTAL	356.252	538.003	582.487	627.714	671.701	716.398

Tabla 9: Demanda del Metro para la Alternativa 1, en viajeros/día laborable. Fuente: Equipo de Movilidad y Demanda de Metro de Madrid.

Los resultados para el número de desplazamientos en los distintos modos se adjuntan en la siguiente ilustración:

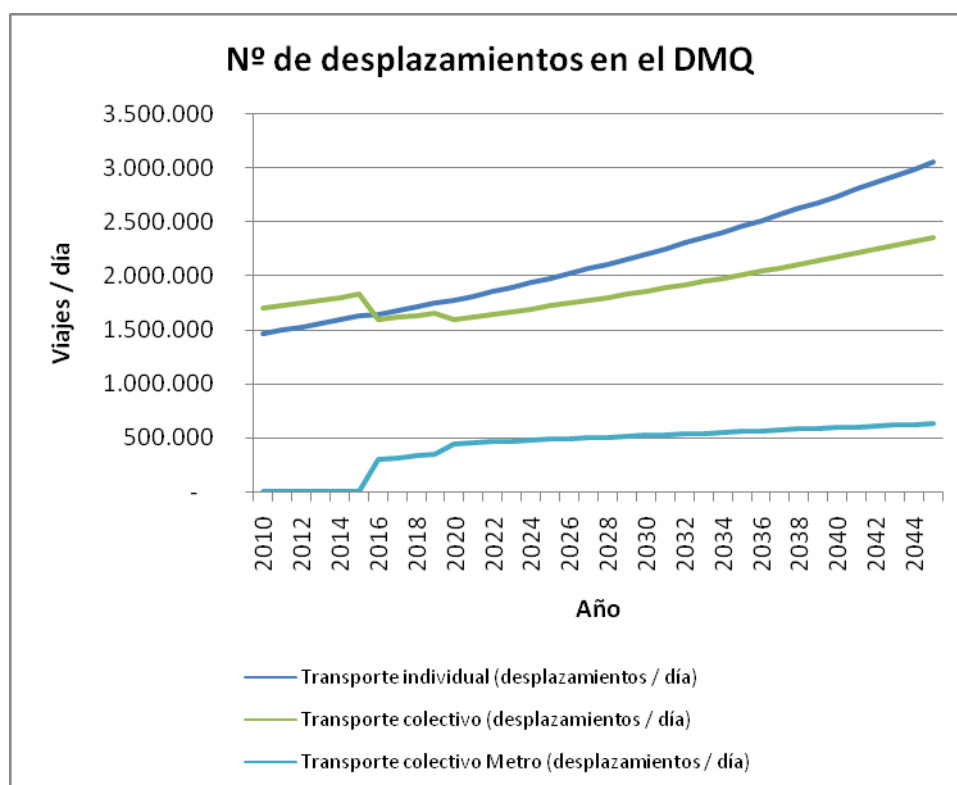


Ilustración 18: Nº de viajes diarios por modo de transporte en el escenario con proyecto. Fuente: Elaboración propia

Se puede observar la disminución en el número de viajeros en transporte colectivo que se produce en 2016 y, en menor medida, en 2020 como consecuencia de la puesta en servicio de las fases I y II

del Metro, que se nutre principalmente de viajeros que proceden del transporte colectivo convencional.

3.3.2. Pasajeros - km

El número total de pasajeros-km para cada año permanece constante con respecto al escenario base (si no se considera la inducción de nuevos viajes), produciéndose un diferente reparto modal.

El cálculo de los pasajeros-km por modo de transporte se realiza como sigue:

- Transporte individual: El número de pasajeros-km en un año es igual al número de desplazamientos en el caso base menos los desplazamientos transferidos al Metro.
- Transporte colectivo convencional: El número de pasajeros-km para un año es igual al número de desplazamientos en el caso base menos los desplazamientos transferidos al Metro.
- Transporte colectivo Metro: El número total de pasajeros-km para un año se obtiene multiplicando el número de viajes en Metro por los kilómetros recorridos de media en este modo de transporte.

3.3.3. Pasajeros - hora

La estimación de los pasajeros-hora se realiza dividiendo el número de pasajeros-km entre la velocidad promedio del modo de transporte para un mismo año.

3.3.4. Velocidad media

Para el transporte en superficie (transporte individual y transporte colectivo tradicional) se ha supuesto que la velocidad mejora ligeramente en toda la ciudad respecto al escenario base.

La disminución de la congestión ocasionada por la entrada en funcionamiento del sistema de Metro es un tema complejo y de gran importancia para el análisis socio económico, que se analiza en detalle en el apartado 4.4.2.1.5.

Para el Metro, se ha supuesto una velocidad comercial de 37,5 km/h constante en el tiempo²⁹.

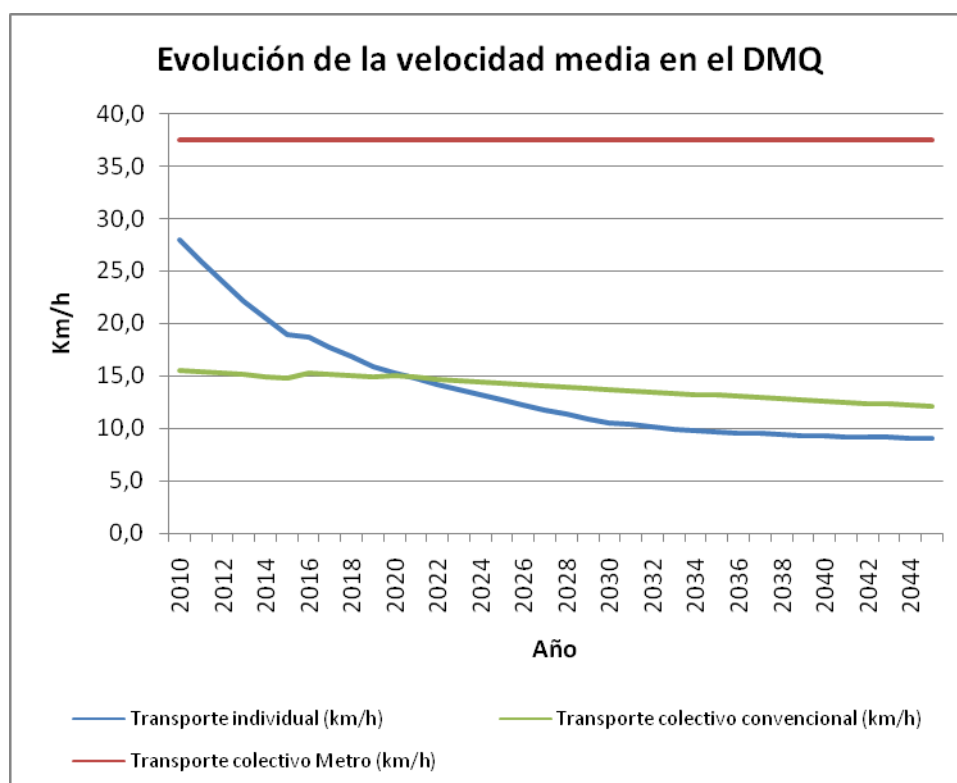


Ilustración 19: Evolución de la velocidad media en el DMQ (escenario con Alternativa 1). Fuente: elaboración propia.

Se observa la gran diferencia que hay entre el sistema Metro y los otros modos de transporte.

La velocidad media del Metro y el transporte colectivo convencional permanecen constantes en el tiempo, mientras que la velocidad del transporte individual disminuye considerablemente.

3.3.5. Tiempo de viaje

La estimación del tiempo de viaje se realiza dividiendo los km/viaje promedio entre la velocidad promedio del modo de transporte para un mismo año.

²⁹Fuente: Equipo técnico de Metro de Madrid.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente ilustración:

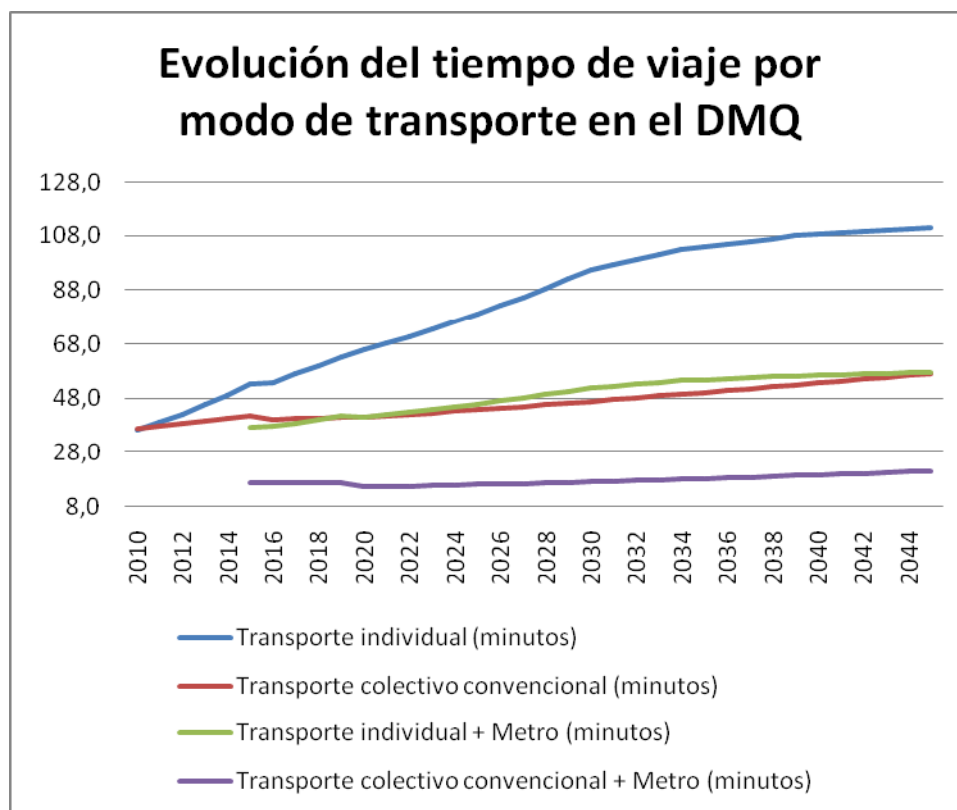


Ilustración 20: Evolución de viaje por modo de transporte en el DMQ (escenario con Alternativa 1).
Fuente: elaboración propia.

4. IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN SOCIAL DE COSTES Y BENEFICIOS

En este apartado se realiza la primera parte del Análisis Coste-Beneficio (ACB) de la futura línea de Metro que se planea construir y explotar en la ciudad de Quito.

El ACB es una técnica diseñada para la evaluación económica de proyectos. Permite expresar sus beneficios y costes en una misma unidad de medida, y tiene en consideración los efectos del proyecto en individuos, bienes y servicios en un sentido amplio: en el ACB se tienen en consideración elementos económicos, sociales y medio-ambientales. Estos efectos se pueden expresar en valores monetarios, ya que se han desarrollado técnicas para su cuantificación en equivalencias monetarias.

El ACB ha tenido una aplicación muy exitosa en el sector del transporte. Asignar valores monetarios a los beneficios y costes de un proyecto en este ámbito es por lo general más sencillo y menos controvertido que en proyectos asociados a otras actuaciones públicas.

El punto de partida lo constituye la identificación de los costes y beneficios asociados al proyecto.

Se continúa con la cuantificación de los costes y los beneficios asociados al proyecto. Aquellos elementos que no poseen un precio explícito (como por ejemplo el tiempo de transporte de los viajeros) son evaluados aplicando diferentes metodologías, que han sido descritas con detalle en los apartados correspondientes. Para los elementos que tienen un precio de mercado, es necesario verificar que se trata del precio de referencia del bien o servicio en condiciones de competencia perfecta y sin impuestos indirectos o subsidios (precio sombra).

Para cada elemento objeto de estudio se realiza una doble valoración: la correspondiente a la alternativa base o sin proyecto, y la correspondiente al escenario con proyecto. Se tiene en consideración de esta forma el coste de oportunidad de los recursos que exige el

proyecto, y se determina si lo que obtiene la sociedad con el proyecto excede lo que podría haber obtenido en otra aplicación.

No son objeto de valoración los beneficios y los costes derivados de una reordenación del transporte colectivo en superficie, por exceder el ámbito del presente estudio.

4.1. IDENTIFICACIÓN DE COSTES Y BENEFICIOS ASOCIADOS AL PROYECTO

A continuación se ha realizado una identificación de los principales costes y beneficios asociados al proyecto, y que han sido descritos y cuantificados posteriormente³⁰.

Entre los costes evaluados figuran los siguientes:

- **Inversión:** La construcción del Metro requerirá la movilización y utilización de gran cantidad de recursos: materiales de construcción, mano de obra, maquinaria, etc.
- **Costes de operación y mantenimiento:** Cuando el Metro entre en servicio, será necesario dedicar recursos a su funcionamiento: mano de obra (conductores, vigilantes, etc.), energía, etc.
- **Afectaciones de la obra:** Durante el periodo de construcción del Metro, se producirán determinados impactos en algunas zonas de la ciudad, que supondrán un coste adicional para Quito. Tal es el caso por ejemplo de la ejecución de estaciones a cielo abierto que obliguen al cierre temporal de accesos viales.

Entre los beneficios evaluados figuran los siguientes:

- **Aumento de la productividad:** la implementación del proyecto producirá un aumento en la velocidad a la que se desplazan los viajeros en Quito, lo que se traducirá en unas ganancias de

³⁰ Se ha cumplido con estándares internacionales y las más exigentes recomendaciones que son habituales en este tipo de estudios.

tiempo importantes. Este concepto se subdivide a su vez en los siguientes beneficios:

- Ganancia en productividad para los usuarios del Metro trasvasados desde otros modos de transporte.
 - Ganancia en productividad por la generación de nuevos viajes.
 - Ganancia en productividad por los menores tiempos de espera.
 - Ganancia en productividad por la disminución de la congestión en superficie.
-
- Reducción en los costes de operación vehicular: La transferencia de pasajeros del vehículo particular y del transporte colectivo al Metro conllevará un ahorro en el "desgaste" y otros costes de los vehículos que circulan en superficie.
 - Ahorro energético: Un menor número de viajeros en superficie supondrá una menor utilización del transporte particular o colectivo convencional, lo que llevará aparejado un menor consumo de combustible.
 - Reducción en la contaminación atmosférica: Se producirá una menor emisión de gases que tienen un efecto dañino sobre personas, animales, plantas y bienes.
 - Reducción en la emisión de gases con efecto invernadero: Se producirá una menor emisión de gases como el CO₂, que contribuyen al calentamiento del planeta.
 - Disminución en la accidentabilidad: La menor circulación en superficie supondrá una disminución en el número de accidentes que allí se producen. De otra parte el Metro es un modo de transporte más seguro.
 - Disminución del ruido: Disminuirá ligeramente el ruido que se produce como consecuencia del tránsito de vehículos en superficie.

4.2. MÉTODOS Y CRITERIOS GENERALES DE VALORACIÓN

A continuación se procede a cuantificar numéricamente los impactos que se han identificado en el apartado anterior, asignándoles un valor monetario.

Se distinguen dos grupos de impactos bien diferenciados:

- Impactos para los que existe un punto de partida en sus precios de mercado, cuya valoración resulta relativamente sencilla (si bien es necesario corregirlos para obtener los precios sombra).
- Impactos para los que no hay un mercado. Es necesario realizar estimaciones u obtener la información de estudios existentes.

El proceso de cuantificación y valoración económica de los beneficios y costes de un proyecto de transporte se complica cuando se consideran las incertidumbres asociadas (como por ejemplo la estimación de la demanda, y los impactos que dependen de la misma), y la valoración monetaria de los efectos producidos – incluso cuando hay precios de mercado que pueden ser utilizados como referencia.

Los ingresos y costes se considerarán realizados, a los efectos del análisis, en el momento de los cobros y desembolsos correspondientes.

En todos los precios aplicados se prescinde del IVA y del resto de impuestos indirectos, así como de las subvenciones que pudiesen existir. Este ajuste se efectúa porque por lo general estos impuestos y subvenciones son en realidad meras transferencias de renta, y no deben por lo tanto contabilizarse en la evaluación del proyecto.

4.3. SELECCIÓN DEL PERIODO DE ANÁLISIS

El periodo durante el cual se extenderá el análisis coste beneficio empieza en el año 2010 y termina en el año 2045.

Desde el punto de vista de la alternativa con proyecto, el periodo de análisis está dividido en:

- Una fase de preparación del proyecto, que comprende el año 2011 y parte del año 2012.
- Una fase de construcción: Esta fase dura 3,5 años aproximadamente y comprende el periodo 2012-2015. En este periodo se realizan todas las inversiones encaminadas a la entrada en funcionamiento del Metro.
- Una fase de operación: Esta fase dura 30 años y comprende el periodo 2016-2045. En todo este periodo se realiza el transporte de pasajeros con el nuevo modo de transporte.

Hasta el año 2015 incluido las únicas diferencias entre las alternativas (caso base y escenario con la construcción de la línea de Metro) son las inversiones en el proyecto y construcción de la nueva infraestructura.

Para la valoración y posterior comparación de todos los costes y beneficios de las alternativas se toma como año base el año 2010. La unidad monetaria utilizada en todos los cálculos será el USD del año 2010.

4.4. COSTES Y BENEFICIOS ASOCIADOS AL PROYECTO

Una vez identificados los distintos componentes de costes y beneficios asociados a la primera línea del Metro de Quito, el siguiente paso ha consistido en cuantificar numéricamente dichos impactos y asignarles un valor en USD de 2010.

4.4.1. Costes del proyecto

Los costes del proyecto están compuestos por los siguientes capítulos:

- Inversiones y reinversiones

- Costes de operación
- Afectaciones de la obra

Para las inversiones, reinversiones y costes de operación se ha tomado como punto de partida los valores obtenidos en el estudio de viabilidad económico-financiera. Dichos valores han sido posteriormente ajustados para calcular los precios sombra³¹.

La determinación de los precios sombra ha considerado que existen dos elementos importantes con precios distorsionados:

- Combustibles: Los combustibles están subvencionados en el Ecuador. El precio de venta al público, 1,5 USD/galón, incluye 0,73 USD de subvención³². El precio de los combustibles que se utiliza en este análisis es por lo tanto 2,23 USD/galón. Es necesario aumentar el precio procedente del estudio de viabilidad económico-financiera un 48,6%.
- Energía eléctrica: Se ha considerado que el precio de la energía eléctrica para el futuro Metro de Quito es de 0,05 USD/Kw·h³³. La energía tiene un coste de producción en la ciudad de Quito de 0,0826 USD/Kw·h³⁴, lo que indica una subvención de 0,0326 USD/Kw·h. Es necesario aumentar el precio procedente del estudio de viabilidad económico-financiera un 65,2%.

El precio sombra de una inversión o gasto vendrá dado por la siguiente expresión:

$$PS_i = P_i \cdot (1 + CC \cdot C_i + CR \cdot R_i)$$

Ecuación 1: Cálculo de Precios Sombra

Siendo: PS_i : Precio Sombra del concepto i.
 P_i : Precio de mercado del concepto i (procedente del estudio de viabilidad económico-financiera).
 CC : Corrección en el precio del combustible (+48,6%).

³¹El precio sombra es el precio que tendría un bien en condiciones de competencia perfecta. En los análisis coste beneficio se utilizan precios sombra en lugar de precios de mercado.

³² Fuente: UNMQ

³³ Este precio, por debajo del mercado, se conseguirá gracias a un convenio de gran consumidor.

Fuente: UNMQ.

³⁴ Fuente: Consejo Nacional de Electricidad del Ecuador (CONELEC).

C_i : Porcentaje del valor del combustible en el precio del concepto i (valorados en el estudio de viabilidad económico-financiera).

C_e : Corrección en el precio de la electricidad (+107%).

E_i : Porcentaje del valor de la electricidad en el precio del concepto i (valorados en el estudio de viabilidad económico –financiera).

El análisis se complica por el hecho de que los combustibles y energía eléctrica a considerar no son únicamente los que entran de forma directa en el proceso de construcción del Metro, sino que hay que tener en cuenta los insumos indirectos, incorporados, por ejemplo, en la maquinaria o materiales de construcción utilizados. La única forma de abordar el problema es mediante la utilización del método de las tablas input-output. Dado que no se disponen de tablas I-O actualizadas para la economía ecuatoriana, se han utilizado los coeficientes obtenidos a partir de las tablas para la economía española, bajo el supuesto de que los procesos productivos utilizados en la construcción de un Metro no difieren excesivamente entre unos y otros países, en lo que se refiere a los insumos procedentes de otras ramas productivas. No sería así en la consideración del peso de los salarios en el proceso productivo, pero esto no afecta a los coeficientes calculados.

A partir de la matriz inversa de Leontief para la economía española se obtiene que para producir 1 euro de "construcción" son necesarios 0,045 euros de "producción y distribución de electricidad" y 0,020 euros de "derivados del petróleo", contando tanto lo que entra directamente en el proceso constructivo como lo que entra de forma indirecta (a través de los materiales de construcción y los demás sectores económicos)³⁵. Se ha supuesto por lo tanto un valor e_i igual a 4,5% y de c_i igual a 2% para todas las partidas del presupuesto. Como se ha comentado, dado que los procesos constructivos utilizados en la realización de un metro subterráneo son similares en los distintos casos, se estima que se pueden utilizar estos valores para el caso del proyecto del metro de Quito.

El factor de corrección obtenido con la metodología e hipótesis que se han descrito para el paso a precios sombra de las inversiones es 1,02 (es decir, es necesario aumentar un 2% los precios de la inversión en

³⁵Fuente: Instituto Nacional de Estadística, España.

infraestructura y material móvil que figuran en el estudio de viabilidad económico financiera).

Para los costes de operación y mantenimiento se dispone de un nivel de desagregación suficiente, que permite cuantificar de forma aproximada los porcentajes de combustibles y electricidad de cada puesto de costes. El factor de corrección para paso a precio sombra de los costes de operación y mantenimiento que se obtiene es 1,148. Esto se debe al gran peso de la electricidad en los costes de operación y mantenimiento (22,6% del total en USD constantes de 2010), y su alto grado de subvención (65,2%).

4.4.1.1. Inversiones y reinversiones

En el capítulo 3 se ha descrito un escenario base en el que no hay prácticamente inversiones. La diferencia en inversiones entre el escenario base y el escenario con proyecto es debida principalmente a las inversiones necesarias para la construcción del Metro y la adquisición del material móvil.

Los costes de construcción de las infraestructuras del Metro han sido ya objeto de valoración en otras áreas del Estudio de factibilidad de la primera línea del Metro de Quito, de donde se han tomado los datos correspondientes, así como el calendario para la realización de las inversiones.

	Alternativa 1	Alternativa 2
Estudios y Asistencia técnica (MM USD de 2010 precio de mercado)	57	57
Infraestructura e instalaciones (MM USD de 2010 precio de mercado)	Fase I: 1.113 Fase II: 268	1.381
Material móvil (MM USD de 2010 precio de mercado)	Fase I: 182 Fase II: 107	289
Inversión total (Incluidos Estudios y Asistencia Técnica MM USD de 2010)	Fase I: 1352 Fase II: 375	1727

Tabla 10: Resumen de inversiones para las dos Alternativas, en USD de 2010 (precio de mercado).

Fuente: Equipo Técnico de Metro de Madrid.

Habría que tener en cuenta que, al tratarse de un período prolongado de análisis, es necesario considerar, además de las inversiones iniciales, unas determinadas inversiones de reposición a lo largo de la vida de las infraestructuras construidas.

4.4.1.2. Costes de operación y mantenimiento

Los costes de operación de la futura línea de Metro han sido analizados de forma pormenorizada en otras áreas del Estudio de factibilidad, de donde se han tomado los valores de referencia.

Los gastos de operación, en USD de 2010 (precios sombra), pasan de 25,6 MM USD en 2016 a 41,3 MM de USD de 2010 (precios sombra) en 2045.

Datos en USD de 2010 (Precios sombra)	2016	2045
Operación del transporte	15.426.495	30.015.708
Mantenimiento de Infraestructura e Instalaciones	3.394.000	4.361.000
Mantenimiento del Material Móvil	3.908.640	8.966.880
Gastos de Gestión y Dirección	8.518.350	5.090.474 ³⁶
TOTAL COSTES	31.247.485	48.434.061

Tabla 11: Costes de operación y mantenimiento de la Alternativa 1 (USD de 2010, precios sombra).

4.4.1.3. Afectaciones de la obra

Durante la fase de construcción de una infraestructura se producen importantes externalidades, como por ejemplo ruidos, vibraciones, emisiones de partículas, etc.

En la construcción de la primera línea del Metro de Quito se planea utilizar una tuneladora tipo Escudo de Presión de Tierras. Este sistema reduce de forma drástica las afectaciones de obra, en comparación con el procedimiento de excavación en trinchera.

³⁶ Estos gastos son inferiores a los del año 2016 al desaparecer la partida “Asistencia Técnica”, necesaria durante los 5 primeros años de explotación del servicio.

No obstante se construirán las estaciones del futuro Metro mediante la técnica "*Cut and Cover*". Esta técnica conlleva el cierre y desvío temporal de vialidades, que afectan tanto a los habitantes de la zona de influencia como a los que sin ser residentes transitan por ella. Por su relevancia, el análisis de estos costes se ha centrado en el aumento de los tiempos promedio de traslado por saturación de vialidades.

La valoración se ha realizado multiplicando el valor del tiempo³⁷ por la estimación del tiempo perdido por los viajeros como consecuencia de las obras.

Por otra parte, se ha realizado una estimación del tiempo perdido por las afectaciones de la obra, considerando la siguiente información:

- Número de estaciones: 19.
- Duración de las obras: 4 años (2013-2014 para la Fase I, 2018-2019 para la Fase II).
- Densidad de población: 91,0 habitantes/ha en 2010³⁸.

Adicionalmente se han formulado las siguientes hipótesis³⁹:

- Zona de afectación de cada estación: 7,07 ha⁴⁰.
- Tiempo diario perdido/persona afectada: 1 hora.

Con estos datos e hipótesis las pérdidas por las afectaciones de las obras se resumen en la siguiente tabla:

Año	Nº de estaciones en construcción	Valor (USD de 2010)
2013	14	35.294.566
2014	14	36.697.636
2018	5	15.577.331
2019	5	16.243.056

Tabla 12: Afectaciones de la obra para la Alternativa 1 (USD de 2010).

4.4.1.4. Suma de los costes sociales

³⁷ Véase el apartado 4.4.2.1.1 del presente estudio.

³⁸ Véase el apartado 1.1.1.1 del presente estudio.

³⁹ No se dispone de fuentes fiables para el establecimiento de estas hipótesis, por lo que se ha realizado una estimación propia con valores que parecen razonables.

⁴⁰ Esta área de afección corresponde a un círculo de 150 m de radio, que tiene como centro la futura estación de Metro.

Se ha resumido en la siguiente tabla el Valor Actual Neto (VAN)⁴¹ de los costes evaluados en los apartados anteriores (USD de 2010):

	Alternativa 1	Alternativa 2
Total	-1.211.010.568	-1.272.417.338
Inversión	-966.861.282	-1.015.401.063
Reinversión	-35.529.918	-37.157.422
Operación y mantenimiento	-154.518.639	-161.157.254
Afectaciones de obra	-54.100.730	-58.701.598

Tabla 13: Resumen de los costes del proyecto (USD de 2010, precios sombra).

4.4.2. Beneficios

La evaluación de los beneficios se realiza a partir de la modelización de los escenarios base y con proyecto.

Los resultados de estos modelos se complementan con informaciones adicionales que permiten cuantificar los diferentes aspectos a evaluar, tal y como se muestra en el siguiente esquema:

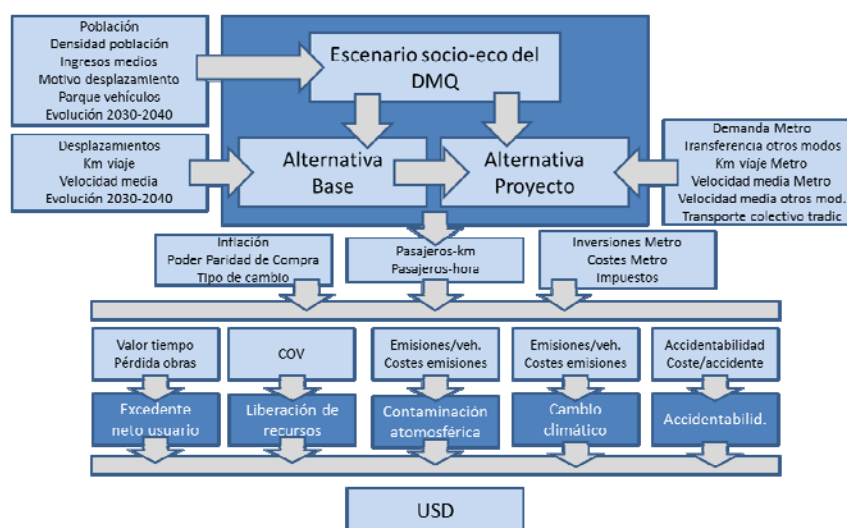


Ilustración 21: Esquema de la modelización utilizada para la evaluación de los beneficios del proyecto.

4.4.2.1. Aumento de la productividad

⁴¹ La definición del VAN y su forma de cálculo se explican en el apartado 5.1.2.

Una persona que debe desplazarse en Quito para trabajar o estudiar tarda en promedio más de dos horas en realizar su viaje (considerando la ida y la vuelta)⁴². Los más perjudicados son las familias que viven en los extremos de la ciudad.

Motivo de viaje	Tiempo (minutos por tramo)				
	Periferia Sur	Periferia Norte	Centro	Área suburbana	Promedio
Hogar-trabajo	57	56	46	102	62
Hogar-escuela	44	57	38	83	50
Otros	44	51	36	96	58

Tabla 14: Tiempos promedio de viaje en Quito. Fuente: BID (2010), HYDEA-Target Euro (2008), EMDUQ (2007)

En este apartado se cuantifica en USD de 2010 la ganancia en productividad entre el escenario base y el escenario con proyecto. Se trata de realizar una evaluación económica de:

1. Los ahorros de tiempo para los viajeros que utilizaban otros modos de transporte.
2. El aumento de productividad obtenido por el mayor número de pasajeros (demanda inducida).
3. Las ganancias en productividad por los menores tiempos de espera asociados a la mayor fiabilidad del Metro.
4. La disminución de la congestión en superficie.

Se ha comenzado por realizar una estimación del valor del tiempo. Por tratarse de una de las variables más importantes del estudio se han utilizado diferentes metodologías para su evaluación.

A continuación se han evaluado las ganancias en productividad para cada uno de los cuatro apartados descritos anteriormente.

4.4.2.1.1. Estimación del valor del tiempo

Si bien no existe un mercado para este concepto, se trata sin embargo de uno de los parámetros más importantes del estudio socio-económico. En efecto, la sensibilidad del resultado final al valor del tiempo es muy elevada.

⁴² Banco Interamericano de Desarrollo, "Identificación y fortalecimiento de centralidades urbanas. El caso de Quito", 2010.

Para obtener un valor lo más fiable posible de este parámetro se han utilizado las siguientes técnicas:

- Metodología de Naciones Unidas
- Trasposición de valores de otros estudios
- Datos procedentes de estudios previos realizados en Quito
- Utilización del salario digno
- Empleo de la renta media en el DMQ y la distribución de ingresos por quintiles

Para la evolución del valor del tiempo se ha considerado una tasa igual al crecimiento de la renta real per cápita⁴³.

METODOLOGÍA DE NACIONES UNIDAS

El Comité Económico de las Naciones Unidas⁴⁴ recomienda que los viajes de trabajo se valoren utilizando la media del salario bruto del país donde se originan. El salario bruto representa el coste pagado por el empleador por una hora de tiempo del empleado, incluyendo los impuestos y las cargas sociales.

Para la valoración de otros viajes se recomienda utilizar un 30% de la media del salario neto en el país donde se origina el viaje.

Cal y Mayor realizó en su informe de 2008⁴⁵ una estimación del salario medio y su evolución en el DMQ, cuyos resultados se reproducen en la siguiente tabla:

Año	Ingreso mensual neto medio (USD corrientes)
2007	490
2010	551
2015	655
2020	759

⁴³ Esta hipótesis supone una elasticidad perfecta del valor del tiempo con la renta unitaria. Se trata de una práctica habitual y recomendada por varios manuales de evaluación de proyectos.

⁴⁴ "A set of Guidelines for socio-economic cost-benefit analysis of transport infrastructure project appraisal", Nueva York y Ginebra, 2003.

⁴⁵ Cal y Mayor, "Estudio de demanda de transporte en el DMQ", Agosto de 2008.

2025	859
2030	948

Tabla 15: Ingreso medio neto en el DMQ. Fuente: Cal y Mayor.

Una estimación del Grupo Consultor que se ha realizado a partir de los ingresos corrientes anuales de los hogares resulta en un salario medio para 2010 de 473 USD/mes⁴⁶, valor inferior a los 551 USD/mes calculados por Cal y Mayor. Se tomará la primera cifra por resultar más conservadora.

Para la obtención del salario medio bruto en el DMQ, se ha añadido al salario medio neto los aportes realizados a la seguridad social:

- Aporte patronal: 11,5% del salario total.
- Aporte del empleado: 9,35% del salario total.

Utilizando esta metodología, y suponiendo una jornada de 8 horas diarias, durante 20 días al mes, se obtienen los siguientes valores:

- Valor subjetivo del tiempo de viaje de trabajo: 3,6 USD de 2010/hora.
- Valor subjetivo del tiempo de viaje que no es de trabajo: 0,9 USD de 2010/hora.

Considerando la composición de los ahorros en tiempo (38% de las horas en viajes de trabajo y 62% de las horas en viajes de no trabajo), el valor subjetivo del tiempo de viaje es de **1,91 USD de 2010/hora**.

TRASPOSICIÓN DE VALORES EMPLEADOS EN OTROS PAÍSES

Se han realizado numerosos estudios en diversos países europeos para estimar el valor del tiempo de viaje. Algunos estudios consideran cómo cambian los valores del tiempo tomando en consideración otros factores de calidad como el confort y la conveniencia. Si bien se reconoce que los valores suelen ser mayores en condiciones poco confortables, estresantes o inciertas, no existen recomendaciones generales a este respecto, sino que varían por modo de transporte y las características específicas de los mismos.

⁴⁶ El cálculo realizado se ha descrito con detalle en el epígrafe "Empleo de la distribución de ingresos por quintiles del hogar".

Es posible trasponer los valores de dichos estudios al Ecuador, utilizando un tipo de cambio, tomando en cuenta la paridad del poder de compra, y por último considerando la inflación en el Ecuador de los últimos años.

Con las consideraciones anteriores, y tomando los valores que la Comisión Europea recomendó en 2006 para España, se obtienen los siguientes valores:

		España (€ de 2002/hora)	Ecuador (USD de 2010/hora)
Automóvil / Tren	Trabajo	22,34	6,84
	No trabajo	8,52	2,61
Autobús	Trabajo	17,93	5,49
	No trabajo	6,12	1,87

Tabla 16: Valor subjetivo del tiempo de viaje por modo de transporte en España y Ecuador.

Fuente: Comisión Europea (2006), elaboración propia

Teniendo en consideración el reparto modal de viajes, así como el reparto por motivo del viaje, el valor subjetivo del tiempo de viaje promedio para Ecuador es **2,74 USD de 2010/hora**.

En el documento *"Evaluación del impacto socioeconómico del transporte urbano en la ciudad de Bogotá. El caso del sistema de transporte masivo, Transmilenio"* elaborado por la CEPAL (Naciones Unidas) en 2002, el valor subjetivo del tiempo de viaje es 1,5 USD/hora. Trasponiendo dicho valor al Ecuador utilizando la paridad de poder adquisitivo, y realizando una actualización utilizando la inflación en el Ecuador de los últimos 8 años, se obtiene un valor de **1,97 USD de 2010/hora**.

VALORACIÓN EN ESTUDIOS PREVIOS REALIZADOS EN QUITO

En el "Estudio de demanda de transporte en el DMQ" realizado por Cal y Mayor y Asociados en 2008 se realiza un cálculo del valor subjetivo del tiempo. La metodología empleada fue la determinación de las funciones de utilidad por modo de transporte, a partir de encuestas que se realizaron para el proyecto.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes (en USD de 2008):

- Viajeros en auto particular: 3,51-85,50 USD/hora

- Viajeros en taxi: 2,82-9,21 USD/hora
- Viajeros en transporte público convencional: 0,0094-0,35 USD/hora
- Viajeros en transporte público metrobús: 0,154-1,182 USD/hora

Estos resultados parecen sin embargo excesivamente bajos comparados con los resultados obtenidos utilizando otros métodos, y los valores propuestos por otros autores.

Roberto Mosquera propone en su trabajo "Racionalización del uso del automóvil en Quito" (2010) un valor medio de **2 USD/hora**, calculado a partir del salario promedio por hora de los deciles 7, 8, 9 y 10, de acuerdo a la encuesta Urbana de Empleo y desempleo del INEC.

En el estudio de Prefactibilidad de la primera línea de Metro de Quito elaborado por la UNMQ en 2010, se realiza una valoración del tiempo a partir del salario básico (240 USD/mes). El valor subjetivo del tiempo se sitúa en **1,50 USD/hora**.

UTILIZACIÓN DEL SALARIO DIGNO

Hasta 2010 el salario básico estaba fijado en el Ecuador en 240 USD/mes. Con la entrada en vigor del nuevo "Código de la Producción", el sector privado debe considerar el salario digno. Dicho salario se calcula en función de la canasta básica familiar (valorada en 519 USD/mes) y considerando que en cada hogar trabajan 1,6 personas de media⁴⁷. El "salario digno" debe ser suficiente para cubrir el costo de la canasta básica, por lo que se estima que ascenderá a 320 USD/mes.

Suponiendo una jornada diaria de 8 horas, y 20 días de trabajo al mes, el valor del tiempo sería **2,00 USD de 2010/hora**⁴⁸.

⁴⁷Fuente: INEC.

⁴⁸Albi, E.; González-Páramo, J.M. y Zubiri, I. (2000) en Economía Pública, Ariel Economía, Barcelona, establecen que el coste de oportunidad del tiempo de ocio es el salario neto (lo que deja de percibir la persona que elige el ocio). No se hace por lo tanto diferencia entre el tiempo de trabajo y el tiempo de ocio.

EMPLEO DE LA DISTRIBUCIÓN DE INGRESOS DE LOS HOGARES POR QUINTILES

Este método se basa en una aproximación de la distribución de los salarios por hora trabajada tomando como dato de partida la distribución por quintiles de los ingresos corrientes totales anuales de los hogares, información que se encuentra disponible⁴⁹.

Por otra parte, se conoce además que en cada hogar trabajan 1,6 personas de media⁵⁰.

A partir de estos datos, y suponiendo jornadas de 8 horas diarias y 20 días de trabajo al mes, se puede obtener la valoración del tiempo por quintil. Dicha información se resume en la siguiente tabla:

	Personas que trabajan	USD de 2010 / persona / mes	USD de 2010 / hora
Quintil 1	595.750	202	1,26
Quintil 2	596.000	311	1,95
Quintil 3	595.779	401	2,51
Quintil 4	595.893	553	3,46
Quintil 5	595.714	898	5,61
Promedio		473	2,96

Tabla 17: Valor del tiempo por quintiles. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la ENIGHU realizada por el INEC.

Los viajeros que en la actualidad utilizan el transporte colectivo poseen unos ingresos muy inferiores a los que disponen de vehículos particulares. En esta valoración del tiempo se ha tomado como hipótesis que los viajeros del transporte colectivo pertenecen a los quintiles 1, 2 y 3 (con un valor promedio ponderado del tiempo de **1,91 USD de 2010 / hora**), mientras que los viajeros de vehículos particulares pertenecen a los quintiles 4 y 5 (con un valor promedio ponderado del tiempo de **4,53 USD de 2010 / hora**).

⁴⁹ Esta información es proporcionada por el INEC a través de la ENIGHU 2003-2004 (Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de Hogares Urbanos).

⁵⁰ Fuente: INEC.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES SOBRE LA VALORACIÓN DEL TIEMPO

En la siguiente tabla se resume la valoración del tiempo obtenida con las diferentes metodologías que se han descrito anteriormente:

Metodología	Valor del tiempo (USD de 2010/hora)
Naciones Unidas	1,91
Trasposición de valores empleados en otros países	2,74 (Europa) 1,97 (Colombia)
Estudios previos realizados en Quito	0,15 a 85,50 (Cal y Mayor) 2,0 (Roberto Mosquera) 1,5 (UNMQ)
Salario digno	2,0
Distribución de ingresos por quintiles	1,91 para usuarios de transporte colectivo 4,53 para usuarios de vehículo particular

Tabla 18: Recapitulativo del valor del tiempo según las diferentes metodologías empleadas.

Eliminando los valores extremos procedentes del estudio de Cal y Mayor, el valor del tiempo se sitúa en el rango 1,91-4,53 USD de 2010/hora, dependiendo en gran medida del tipo de viajero del que se trate.

El valor que se ha adoptado en el presente análisis es el obtenido del estudio de la distribución de los ingresos por quintiles: **1,91 USD de 2010/hora** para los usuarios de transporte colectivo y **4,53 USD de 2010/hora** para los usuarios del transporte particular. Dicho valor se incrementará cada año con el crecimiento del valor real del PIB per cápita.

4.4.2.1.2. Ganancia en productividad para los usuarios de Metro

El valor económico por los ahorros de tiempos se obtiene multiplicando el valor del tiempo por el número total de horas ahorradas.

El resultado obtenido para cada año se muestra en el siguiente gráfico:

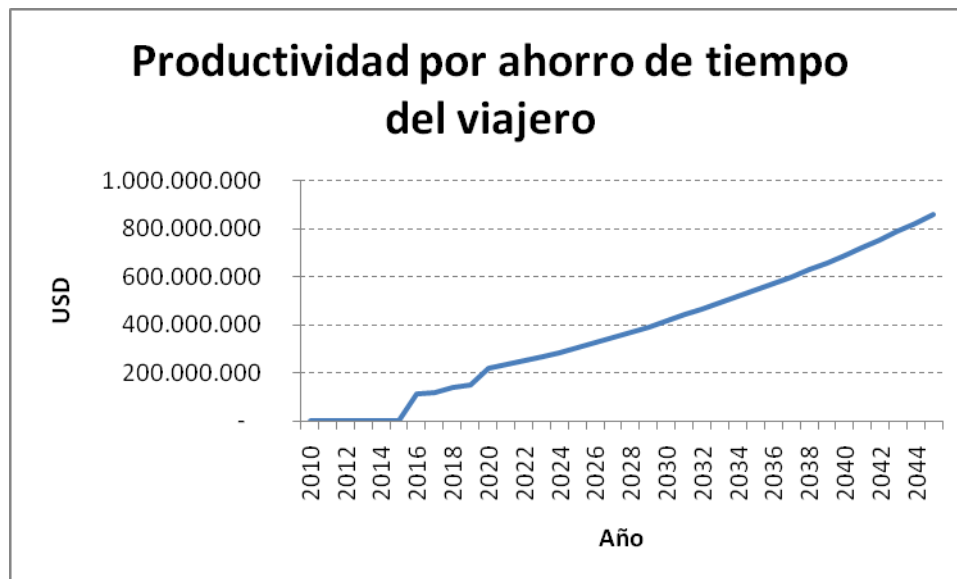


Ilustración 22: Productividad por ahorro de tiempo del viajero (Alternativa 1). Fuente: elaboración propia

Se puede apreciar el escalón producido por la entrada en servicio de la Fase II, que conlleva un aumento en el número de viajeros y las distancias recorridas por cada viajero.

El valor de dicha productividad aumenta con el número de usuarios del Metro y con la valoración creciente del tiempo, pasando de 111 MM de USD en 2016 a 858 MM de USD en 2045.

4.4.2.1.3. Ganancia en productividad por la generación de nuevos viajes

La teoría clásica de la oferta y la demanda demuestra la existencia de una elasticidad negativa del precio a la demanda: cuando aumenta el precio de un bien o servicio, su demanda disminuye (y viceversa).

La disminución de los costes del transporte introducidos por el Metro (incluido el menor tiempo de desplazamiento frente a otros modos de transporte disponibles) podrá resultar en la generación de nuevos viajes (al margen del trasvase de viajeros procedentes de otras formas de transporte colectivo o particular). Se trata de la generación de nuevos viajes, que representa una ganancia en productividad.

El método utilizado para la cuantificación de dicha ganancia se ilustra con el siguiente gráfico, en el cual se representa en el eje de abscisas el número de pasajeros y el eje de ordenadas el coste generalizado de un viajero tipo.

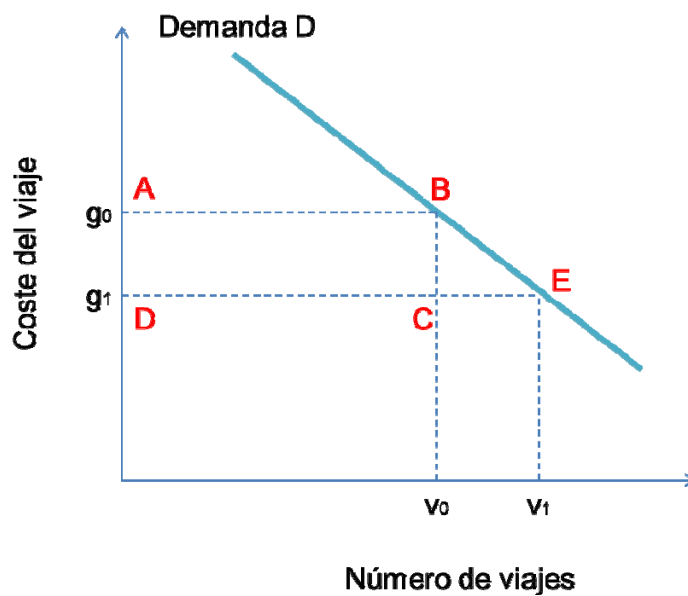


Ilustración 23: Representación gráfica de las ganancias en productividad introducidas por el Metro

En condiciones normales, con la curva de Demanda D, y con un coste de viaje para el pasajero g_0 , el número de viajeros será v_0 . Con la introducción del Metro, se produce un abaratamiento del coste del viaje, que se sitúa en g_1 . Se produce un aumento del número de viajeros hasta v_1 . La ganancia en productividad está conformada por el área del rectángulo ABCD, que representa la ganancia en productividad de los usuarios que utilizaban otros modos de transporte (y que se cuantificó en el epígrafe anterior), y el área del triángulo BCE, asociada a la generación de nuevos viajes.

Matemáticamente, esta ganancia en productividad se puede expresar de la siguiente forma:

$$P = \frac{1}{2} \cdot (v_1 - v_0) \cdot (g_1 - g_0)$$

Ecuación 2: Evaluación de las ganancias en productividad originadas por nuevos viajeros

Siendo: P : Ganancias en productividad, en USD
 $(v_1 - v_0)$: Número de nuevos viajeros

$(g_1 - g_0)$: Disminución del coste del viaje con respecto a la situación precedente. Este valor se puede estimar como el ahorro en tiempo medio que se produce, multiplicado por el valor del tiempo.

En el caso de la línea de Metro de Quito, estas ganancias se ilustran en el siguiente gráfico:

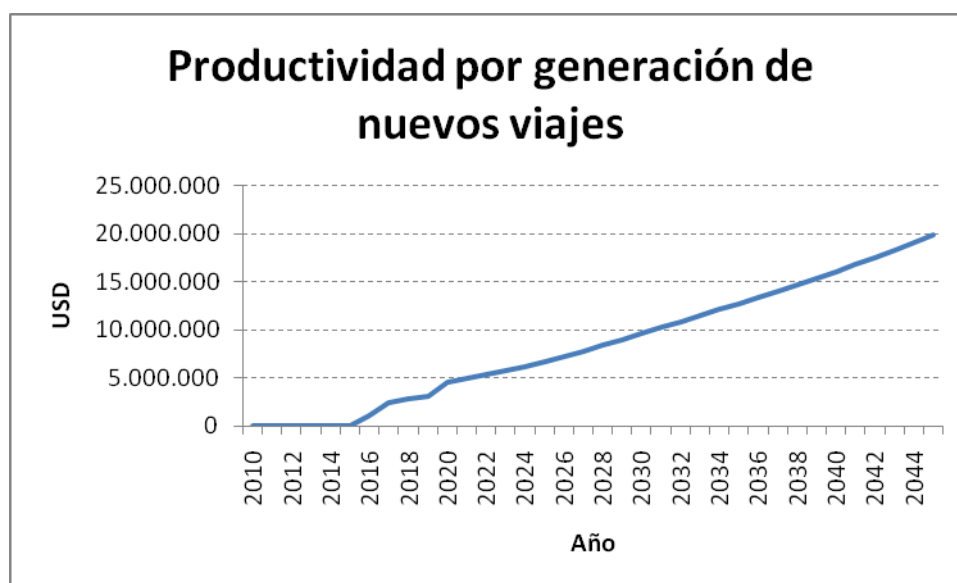


Ilustración 24: Productividad por generación de nuevos viajes. Fuente: elaboración propia.

El valor de dicha productividad aumenta con el número de usuarios del Metro, pasando de 1 MM de USD en 2016 a 20 MM de USD en 2045.

4.4.2.1.4. Ganancia en productividad por los menores tiempos de espera

La no realización de la línea de Metro significaría que los usuarios se verían obligados a utilizar un sistema de transporte que opera en condiciones de saturación. Los retrasos debidos a la congestión afectarían a los usuarios no únicamente en el propio tiempo de viaje, sino también en los tiempos de espera en las paradas, por lo que habrá que contabilizar también el beneficio que supondría en este sentido la nueva línea de Metro.

En el estudio realizado por Cal y Mayor se evaluaron las demoras en el transporte público y sus principales causas. Los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

Sentido	Demoras por causa (minutos)							Total
	Congestión	Detención Vehículo	Intersección (Pare)	Ascenso o Descenso	Reducción velocidad	Semáforo	Otros	
EO	0,99	0,77	0,55	0,65		0,79	0,62	4,36
NS	0,90	0,60	0,71	0,39	0,75	0,62	1,09	5,07
OE	0,96	0,86	0,73	0,68		0,71	0,72	4,66
SN	1,00	0,72	0,63	0,41	0,65	0,64	0,99	5,03
Total	0,95	0,68	0,67	0,42	0,70	0,65	0,96	5,04

Tabla 19: Demoras del transporte público por causas. Fuente: Cal y Mayor.

Los retrasos medios que se producen en la actualidad se estiman en 5 minutos en el sistema actual de BRT's. Cabe insistir en que el valor indicado de 5 minutos representa un valor medio por operación⁵¹. Esto supone que el tiempo de viaje medio de los usuarios del transporte colectivo es en realidad mayor al estimado inicialmente, ya que hay que añadirle el tiempo de espera hasta que llega el transporte.

Una de las ventajas del Metro, cuando es correctamente operado, es su gran fiabilidad y puntualidad.

Se concluye por lo tanto que, además de las ganancias en productividad debidas a la mayor velocidad comercial del Metro en comparación con otros modos de transporte, se produce una ganancia en el caso de los antiguos usuarios del transporte colectivo por la desaparición de estos tiempos de espera. Con los datos anteriormente expuestos se ha evaluado dicha ganancia en 4 minutos por viajero (los 5 minutos totales, restando el minuto de retraso que se produce debido a la congestión, fenómeno que se evalúa en el epígrafe 4.4.2.1.5).

Estas ganancias se ilustran en el siguiente gráfico:

⁵¹ De acuerdo con la EPMTQ los retrasos medios son de 5 minutos en cada trole, en especial en sectores del centro histórico. La principal causa son las invasiones de carril. El aumento de demanda no genera fuertes retrasos (por ejemplo días de incremento de pasajeros por un evento deportivo o similar), ya que el sistema dispone de un número de buses de reserva que se pueden incorporar al mismo. Fuente: Carlos Poveda, Gerente General EPMTQ.

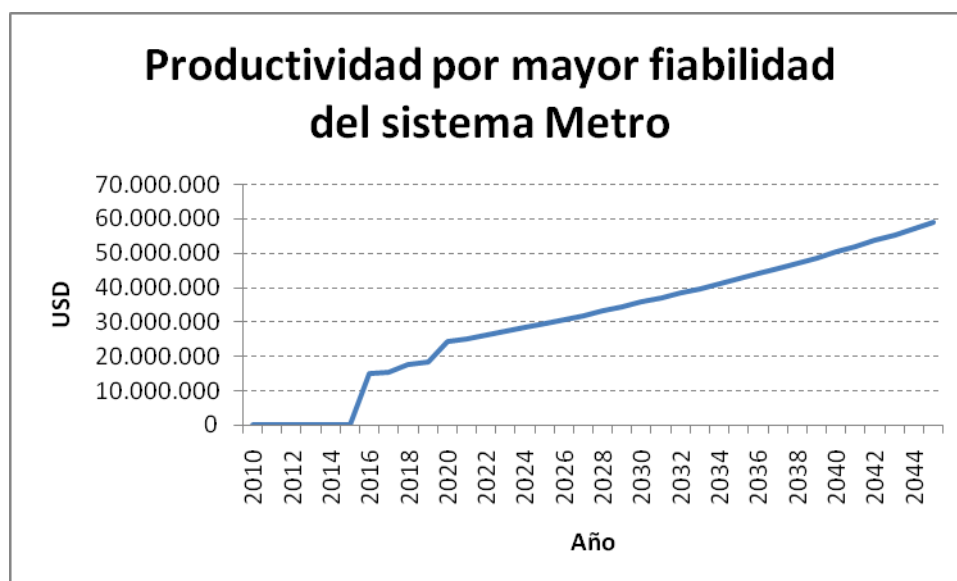


Ilustración 25: Productividad por mayor fiabilidad del sistema Metro.
Fuente: Elaboración propia.

El valor de dicha productividad aumenta con el número de usuarios del Metro, pasando de 15 MM de USD en 2016 a 59 MM de USD en 2045.

4.4.2.1.5. Ganancia en productividad por la disminución de la congestión en superficie

La realización del proyecto de Metro tiene como resultado un traspaso de viajes que antes utilizaban modos de transporte de superficie (transporte colectivo convencional y vehículo particular) al nuevo sistema de transporte subterráneo.

Como consecuencia, se producirá una disminución en el número de vehículos en superficie, lo que a su vez se traducirá en una menor congestión y un aumento de la velocidad media de circulación.

UTILIZACIÓN DE FUNCIONES FLUJO-DEMORA

La cuantificación de dicho aumento de la velocidad es normalmente proporcionada por las funciones flujo-demora.

El estudio realizado por Cal y Mayor en 2008 utilizó funciones flujo-demora de tipo cónico. Estas funciones son adecuadas para la modelización del tráfico en vías urbanas bajo condiciones próximas a la saturación, habiendo sido ampliamente comprobada su fiabilidad.

La función empleada tiene la siguiente forma:

$$t = t_0 \cdot \left(2 + \sqrt{\alpha^2 \cdot (1-x)^2 + \beta^2} - \alpha \cdot (1-x) - \beta \right)$$

Ecuación 3: Función flujo-demora de tipo cónico.

Siendo:

t :	Tiempo en el tramo de vía
t_0 :	Tiempo en flujo libre (minutos)
α :	Parámetro a calibrar (>1)
x :	V/C
β :	$(2\alpha-1)/(2\alpha-2)$
V :	Volumen total en el tramo de vía
C :	Capacidad total de la vía

En vías urbanas principales, secundarias y viarios locales urbanos el valor de α es 3,75. En el escenario base, debido a la congestión, se puede tomar el valor de $x=1$ (el volumen de tráfico en el tramo de vía es igual a la capacidad total de la vía) para las principales vías de la ciudad, durante la mayor parte del día. Aplicando la fórmula se obtiene el resultado $t=t_0 \cdot 2$.

En función de la reducción del tráfico, es posible obtener nuevos valores para la relación entre t y t_0 . El cociente entre la situación del escenario con proyecto ($t=t_0 \cdot F$, siendo F el valor obtenido al sustituir en la fórmula cónica el valor de x por uno menos la reducción del tráfico) y el escenario base ($t=t_0 \cdot 2$) dará el aumento en la velocidad.

Los resultados se muestran en el siguiente gráfico:

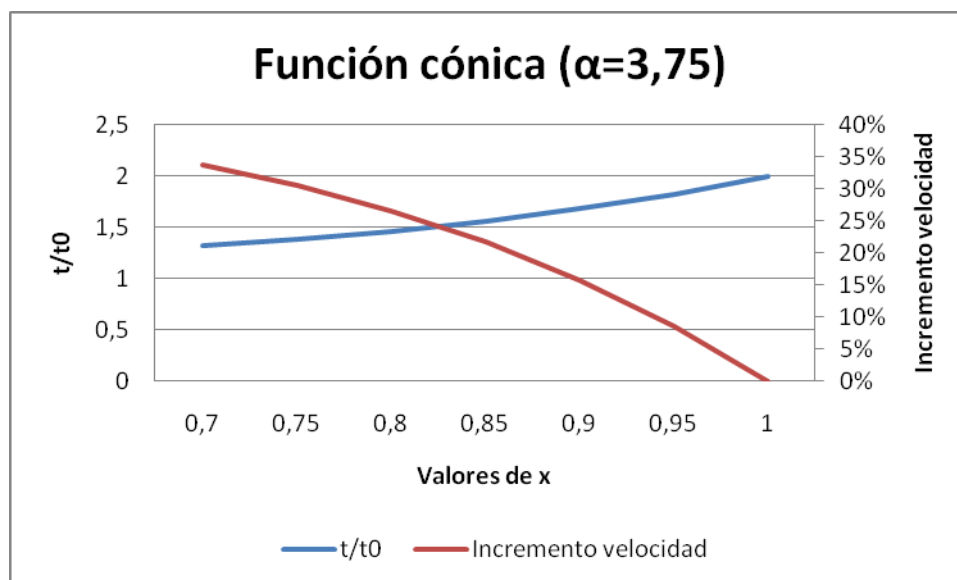


Ilustración 26: Función cónica – aumento de la velocidad en función de la disminución del tráfico.
Fuente: elaboración propia.

De esta forma, una disminución en el tráfico del 5% hace que el valor de x sea 0,95. Aplicando la función cónica, se obtiene $t = t_0 \cdot 1,827$ en el escenario con proyecto. Dividiendo dicho resultado entre 2 (valor en el escenario base) se obtendría un incremento en la velocidad de +8,64%.

EXPERIENCIAS EN PROYECTOS SIMILARES

En la ciudad de Santo Domingo se ha estimado que la disminución de un punto porcentual en el flujo de vehículos tiene como resultado un aumento superior al uno por ciento en la velocidad promedio del tráfico (Gómez Ibáñez, 2010)⁵².

⁵² Gómez-Ibáñez, Jose A., Derek C. Bok Professor of Urban Planning and Public Policy, Harvard University Graduate School of Design, Harvard Kennedy School; Research Advisor: September 2009-March 2010.

CONCLUSIONES

La disminución del flujo vehicular en Quito debido al Metro, suponiendo que el autobús medio ocupa el espacio de 3 vehículos particulares, oscila entre 2,26% y 3,26%, dependiendo del año.

Aplicando la función cónica flujo-demora que se ha descrito anteriormente se obtiene un incremento de velocidad que oscila entre 4,09% y 5,80% respecto al escenario base.

No obstante dicho resultado presupondría una congestión permanente en todas las vías del DMQ⁵³. Un supuesto más realista es aplicar el efecto de la descongestión a las vías de la zona central de Quito, que son las más congestionadas y donde mayor efecto tendrá la disminución del tráfico por la entrada en funcionamiento de la línea de Metro.

Los viajes a la zona central de Quito representaron en 2007 el 47% de los desplazamientos totales⁵⁴. Se ha supuesto que dichos viajes representaron igualmente el 47% del tráfico de la ciudad (lo que equivale a considerar una composición uniforme del flujo vehicular en el DMQ). Se ha supuesto además que dicha proporción permanece constante en el tiempo.

El aumento de la velocidad se traduce en una ganancia de tiempo para los viajeros que no son usuarios de Metro. Estas ganancias se ilustran en el siguiente cuadro:

⁵³ La referencia del escenario base toma como dato $x=1$, lo que significa que el volumen de la vía es igual a su capacidad.

⁵⁴ Fuente: DMT 2007.

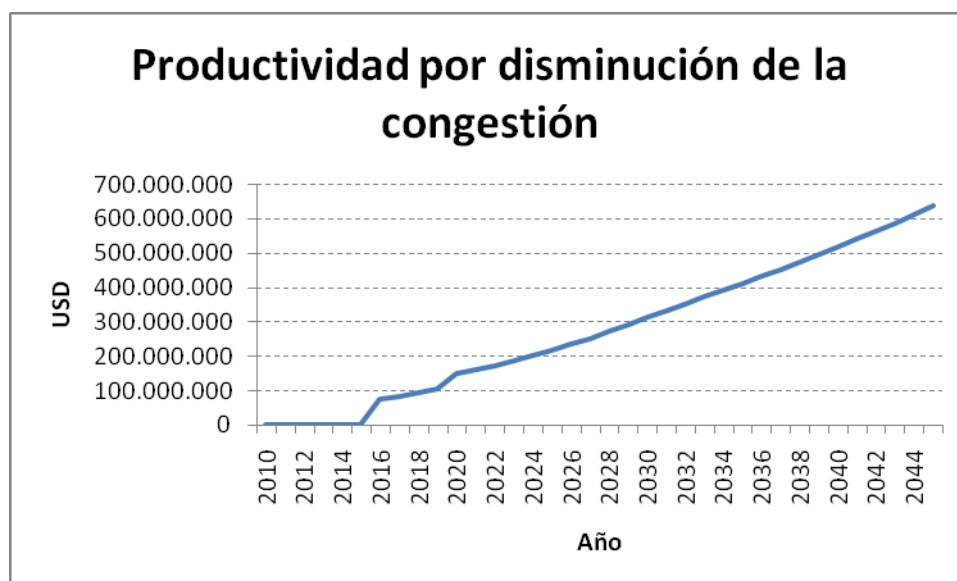


Ilustración 27: Productividad por disminución de la congestión. Fuente: Elaboración propia.

El valor de dicha productividad pasa de 75 MM de USD en 2016 a 637 MM de USD en 2045.

4.4.2.2. Reducción en los costes de operación vehicular

La entrada en funcionamiento del sistema de Metro supone una disminución en el uso del vehículo particular y del transporte colectivo convencional.

Además del menor consumo de carburantes que se evaluará en el apartado 4.4.2.3, se produce en términos generales un menor "desgaste" de vehículos particulares y transportes colectivos convencionales, así como un menor consumo del resto de insumos que necesitan para funcionar (lubricantes, ruedas, etc.).

Para evaluar este efecto, se ha procedido en varias etapas:

- Estimación del parque de vehículos y su utilización en el DMQ
- Cálculo de los Costes de Operación de los Vehículos (COV)
- Evaluación de la diferencia en los COV en el escenario base y el escenario con proyecto

A continuación se detallan las principales hipótesis utilizadas en cada etapa.

ESTIMACIÓN DEL PARQUE DE VEHÍCULOS Y SU UTILIZACIÓN EN EL DMQ

Para la estimación del parque de vehículos en el DMQ y su evolución en el tiempo, se ha tomado como referencia los datos recogidos en el documento *"Racionalización del uso del automóvil en Quito"*, elaborado por el Centro de Investigaciones Económicas de la Universidad de las Américas en 2010.

En dicho estudio se proporciona la cifra de 420.000 vehículos en 2009 (de los cuales el 96,5% son coches), y 1.290.000 vehículos en 2025. Esto supone un crecimiento anual compuesto de 7,3%.

Para la proyección hasta el año 2045 del parque de vehículos se ha supuesto que la tasa de crecimiento se modera, como efecto de la progresiva saturación que se produce por el aumento de vehículos en la ciudad⁵⁵. A partir del año 2025 se han considerado las siguientes tasas de crecimiento:

- Periodo 2025-2029: crecimiento anual de 3,6% (la mitad del experimentado en el periodo anterior).
- Periodo 2030-2034: crecimiento anual de 1,8% (la mitad del experimentado en el periodo anterior).
- Periodo 2035-2039: crecimiento anual de 0,9% (la mitad del experimentado en el periodo anterior).
- Periodo 2040-2045: crecimiento anual de 0,5% (la mitad del experimentado en el periodo anterior).

En el siguiente gráfico se muestra la evolución del parque de automóviles en el DMQ:

⁵⁵Con esta hipótesis se logra suavizar y mantener estable los km-vehículo/año. Mantener una tasa de crecimiento del 7,3% anual hasta 2045 supondría la disminución de los km-vehículo/año para 2045 a un tercio de su valor en 2010.

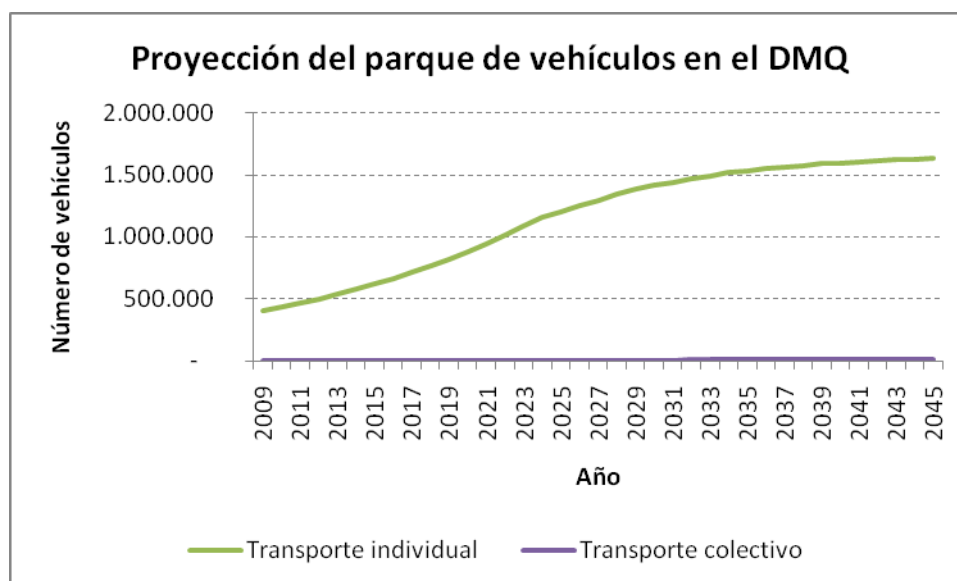


Ilustración 28: Evolución del parque de vehículos y la tasa de motorización en el DMQ. Fuente: CIE, elaboración propia.

A partir del parque de vehículos en el DMQ, se puede calcular los kms/año de cada vehículo y su tiempo de funcionamiento si se conoce el número de pasajeros/vehículo de media. Se ha tomado como hipótesis que en coche viajan 1,58 personas de media⁵⁶, y en autobús 35 personas⁵⁷. Dichos parámetros se han considerado constantes en el tiempo. Se obtiene de esta forma para el año 2010 un funcionamiento de 13.000 km/año y 470 horas/año para el coche, y 50.000 km/año y 3.200 horas/año para el autobús.

Se ha tomado como hipótesis adicional que el parque vehicular es el mismo para el escenario base y para el escenario con proyecto. El número de kilómetros y el tiempo de funcionamiento son sin embargo menores en el escenario con proyecto, al realizarse parte del recorrido en Metro.

⁵⁶ Fuente: Cal y Mayor.

⁵⁷ Fuente: elaboración propia sobre la base de las frecuencias de ocupación en el cordón externo obtenidas por Cal y Mayor en 2008.

CÁLCULO DE LOS COSTES DE OPERACIÓN DE LOS VEHÍCULOS (COV)

Para el cálculo de los COV se ha utilizado la herramienta desarrollada por el Banco Mundial "HDM-VOC"⁵⁸. Se trata de un programa informático que realiza una estimación de los COV para diez tipos de vehículos diferentes.

Es necesario introducir en el programa información sobre las características del vehículo, su utilización, sus costes unitarios y las características de la calzada. Los costes unitarios de los vehículos han sido introducidos sin IVA, sin impuestos de matriculación, sin aranceles, sin otros impuestos indirectos y sin subvenciones.

Se ha supuesto que los espacios viales del DMQ tienen un estado medio de conservación, y se han obtenido los COV de dos tipos de vehículos: un coche de tamaño medio y un autobús⁵⁹. Los COV obtenidos vienen expresados en USD de 2010 sin impuestos por 1.000 km.

Se obtiene de esta forma un COV para el coche de 167 USD/1.000 km en 2010, y para el autobús de 881 USD/1.000 km.

EVALUACIÓN DE LA DIFERENCIA EN LOS COV EN EL ESCENARIO BASE Y EL ESCENARIO CON PROYECTO

Utilizando los datos calculados en los apartados anteriores, se ha realizado una estimación de la diferencia en los COV en los escenarios base y con proyecto.

Se han obtenido unos ahorros por la liberación de recursos que se muestran en el siguiente gráfico:

⁵⁸ HDM-VOC: "Highway Development and Management – Vehicle Operating Costs", o en castellano "Desarrollo y Gestión de Carreteras –Costes de Operación de los Vehículos". <http://www.worldbank.org/transport/roads/tools.htm>

⁵⁹El conjunto de hipótesis utilizadas se encuentran en los anexos del presente documento

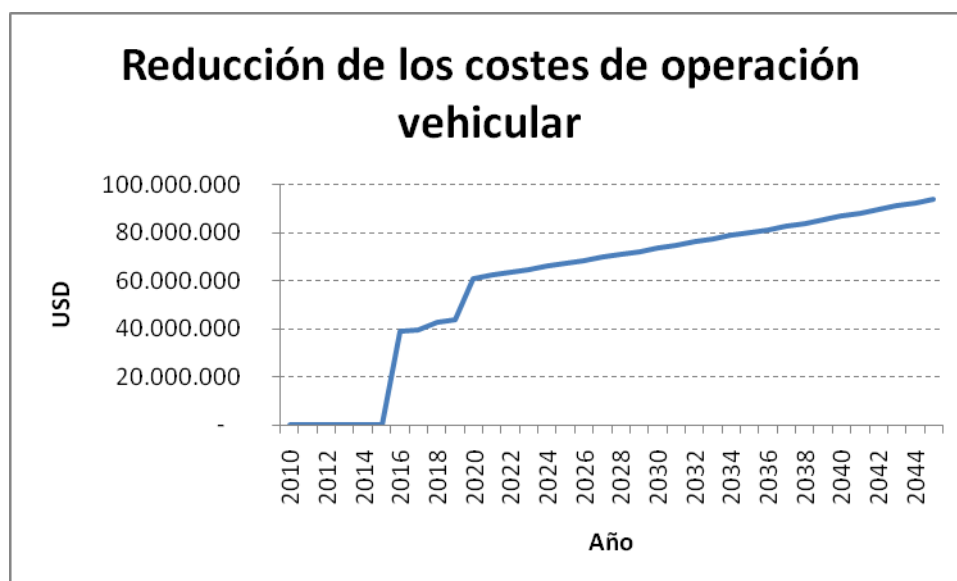


Ilustración 29: Estimación de la reducción en los costes de operación vehicular. Fuente: estimación propia.

El valor de dicha externalidad aumenta en el tiempo, pasando de 39 MM de USD en 2016 a 94 MM de USD en 2045.

4.4.2.3. Ahorro energético

En el escenario con proyecto se produce un trasvase de viajeros al Metro, que realizan parte de su viaje utilizando su antiguo modo de transporte, y parte en el ferrocarril urbano.

Se produce por lo tanto una menor utilización de los modos de transporte alternativos al Metro: el transporte particular y el transporte colectivo tradicional.

Un beneficio de dicho trasvase de viajeros reside en la disminución en el consumo de carburante que utilizan los vehículos particulares y transportes colectivos para funcionar. En este apartado se ha realizado una evaluación de dicho ahorro.

Para evaluar este efecto, se ha procedido en varias etapas:

- Estimación del parque de vehículos y su utilización en el DMQ (tal y como se ha descrito con anterioridad)
- Cálculo del consumo de carburante para cada tipo de vehículo

- Evaluación de la diferencia en el consumo de carburante en el escenario base y el escenario con proyecto

CÁLCULO DEL CONSUMO DE CARBURANTE PARA CADA TIPO DE VEHÍCULO

Para el cálculo del consumo de carburante para cada tipo de vehículo se ha utilizado la herramienta desarrollada por el Banco Mundial "HDM-VOC"⁶⁰, al igual que se ha hecho con el resto de costes de operación vehicular.

Se han obtenido los consumos de carburante de dos tipos de vehículos: un coche de tamaño medio y un autobús⁶¹. Los consumos de carburante obtenidos vienen expresados en USD de 2010 sin impuestos ni subsidios, por 1000 km.

Se obtiene de esta forma un consumo para el coche de 38,7 USD/1.000 km en 2010, y para el autobús de 262,6 USD/1.000 km⁶².

EVALUACIÓN DE LA DIFERENCIA EN EL CONSUMO DE CARBURANTE EN EL ESCENARIO BASE Y EL ESCENARIO CON PROYECTO

Utilizando los datos calculados en los apartados anteriores, se ha realizado una estimación del ahorro energético para el DMQ en el escenario con proyecto.

Dichos ahorros se muestran en el siguiente gráfico:

⁶⁰<http://www.worldbank.org/transport/roads/tools.htm>

⁶¹El conjunto de hipótesis utilizadas se encuentran en los anexos del presente documento

⁶² Este cálculo integra la diferencia en el precio sombra de la gasolina que utilizan los vehículos privados (2,68 USD de 2010/galón) y el diésel que consume el transporte público (2,31 USD de 2010/galón).

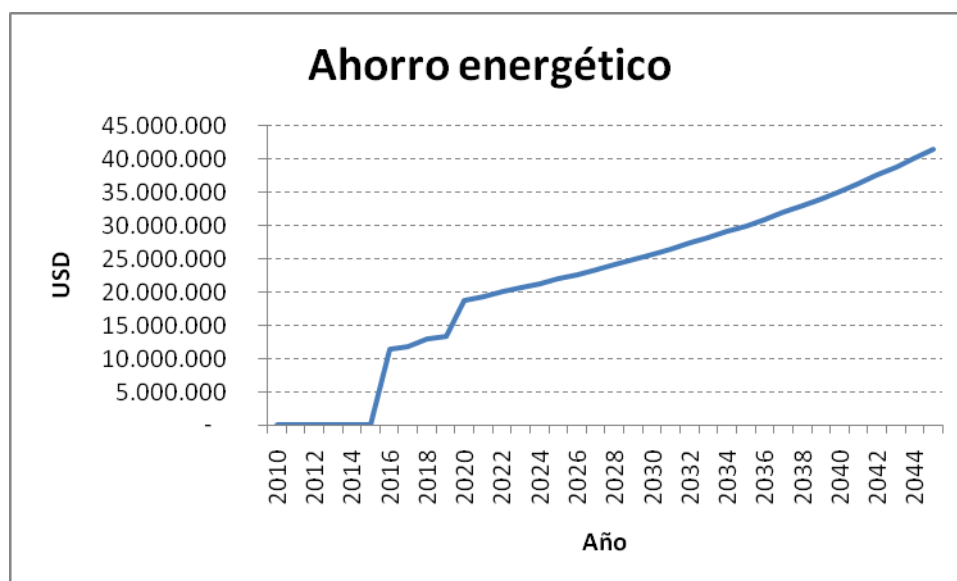


Ilustración 30: Estimación del ahorro energético en el escenario con proyecto. Fuente: Elaboración propia.

El valor de dicha externalidad aumenta en el tiempo, pasando de 11 MM de USD en 2016 a 41 MM de USD en 2045.

4.4.2.4. Reducción de la contaminación atmosférica

Los principales impactos que produce la contaminación atmosférica son los efectos en la salud de las personas, animales y plantas (morbilidad y mortalidad en casos extremos), menor visibilidad ambiental, y el deterioro de materiales (fachadas de edificios, esculturas, etc.). Los efectos en el clima se han considerado en el apartado 4.4.2.5 "Cambio climático".

En la ciudad de Quito el tráfico vehicular es responsable del 65% de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x), el 28% de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COVs), el 98% de las emisiones de monóxido de carbono (CO), el 44% de las emisiones de dióxido de azufre (SO_2) y el 15% de las partículas de material de tamaño inferior a 10 micras (PM_{10})⁶³. Se pone de manifiesto la gran importancia que esta fuente tiene en el conjunto de las emisiones del DMQ.

⁶³ Fuente: inventario de emisiones del DMQ, CORPAIRE, 2003.

Fase: F.3. Estudio de Factibilidad de la primera línea del Metro de Quito

Actividad: A.3.5. Estudio de Viabilidad Socio Económica

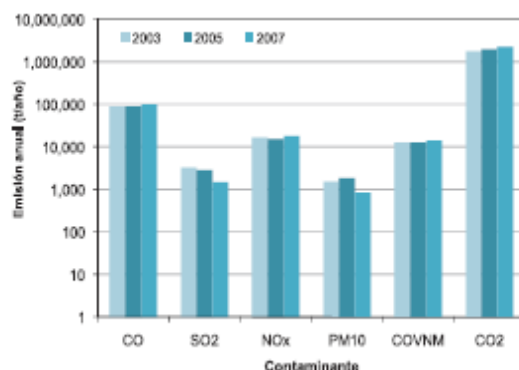


Ilustración 31: Comparación de emisiones anuales procedentes de Fuentes Móviles en el DMQ. Fuente: CORPAIRE (2007).

La calidad del aire en Quito es aceptable. Existe no obstante una excesiva concentración de partículas de material procedentes del consumo de combustible diésel (transporte público y de carga)⁶⁴. Las proyecciones realizadas sobre la evolución de la contaminación en el DMQ indican que la situación se agravará en el futuro, tal y como muestra el siguiente gráfico.

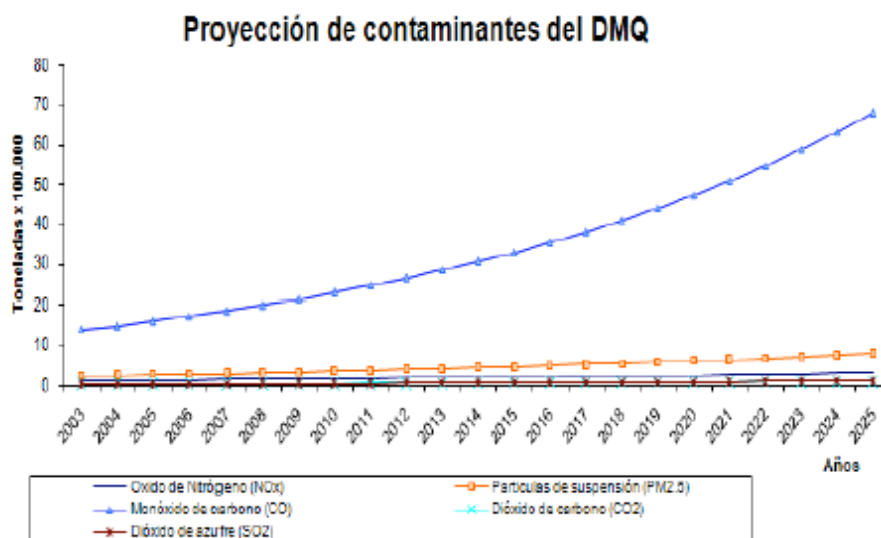


Ilustración 32: Proyección de contaminantes generados por emisiones vehiculares en el DMQ. Fuente: DMT, CORPAIRE 2007.

⁶⁴La concentración máxima permisible de partículas de material de tamaño inferior a 2,5 micras, de acuerdo a la norma, es de 65 µg/m³ (promedio en 24 horas) y 15 µg/m³ (promedio anual). Las cinco estaciones que controlan este parámetro en Quito registran concentraciones superiores a 18 µg/m³ para la norma anual, es decir, se presenta un incumplimiento en este parámetro.

Para el cálculo del valor económico asociado a la disminución de la contaminación atmosférica, se ha procedido a través de las siguientes etapas:

- Valoración económica de los principales contaminantes (USD/T)
- Estimación de la contaminación producida por el parque de vehículos en el DMQ
- Evaluación y monetarización de la diferencia de contaminación en el escenario base y el escenario con proyecto

VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES

Existen numerosos estudios que valoran el efecto de la contaminación. El inconveniente que plantea extrapolar resultados de otros estudios es que los impactos medioambientales son en gran medida específicos de cada proyecto. La localización tiene importancia en las condiciones y tipo de tráfico, así como en las condiciones medioambientales de la región.

La imposibilidad de realizar un estudio específico en este sentido hace aconsejable realizar la simplificación que supone adoptar unos valores de referencia. En la siguiente tabla se recogen las principales estimaciones realizadas por instituciones especializadas, así como su conversión en USD. Además de la tasa de conversión de divisas se ha utilizado la paridad del poder de compra entre España y Ecuador:

Tipo de emisión	Valor (€2000/T)	Valor* (USD Ec 2010/T)	Institución que realiza la estimación
NO _x	2.600	1.183	CAFE***
COVDM**	400	182	CAFE***
SO ₂	4.300	1.956	CAFE***
PM _{2,5} ⁺ (de combustión)	299.600	136.290	HEATCO ⁺⁺
PM ₁₀ ⁺⁺⁺ (No de combustión)	119.900	54.543	HEATCO ⁺⁺

Tabla 20: Costes monetarios estimados de la contaminación del aire originada por el transporte por carretera y ferrocarril. Fuente: Maibach et al. (2008), elaboración propia.

* El paso de € 2000 a USD Ec 2000 se realiza utilizando el tipo de cambio USD/€ y la paridad del poder de compra en el año 2009.

** COVDM: Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos del Metano

*** CAFE: Clean Air For Europe

- + PM2.5: Partículas finas (del inglés Particulate Matter)
- ++ HEATCO: Harmonised European Approaches for Transport Costing
- +++ PM10: Partículas gruesas (del inglés Particulate Matter)

ESTIMACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR EL PARQUE DE VEHÍCULOS EN EL DMQ

Se han promovido diversas normas nacionales por el Municipio de Quito, con el objetivo de limitar las emisiones nocivas procedentes del parque vehicular. Se destacan en particular las siguientes normas:

- NTE-INEN 2204:98, límites permitidos de emisión de fuentes móviles terrestres a gasolina.
- NTE-INEN 2207:98, límites permitidos de emisión de fuentes móviles terrestres a diesel.
- NTE-INEN 2205:99, requisitos bus urbano

Se ha comenzado por obtener las emisiones por vehículo, utilizando los datos proporcionados por el estudio elaborado por el Banco Mundial "Air Pollution from motor vehicles" (1996).

Dicho documento proporciona las emisiones por tipo de vehículo en diferentes ciudades del mundo. Las emisiones adoptadas para el presente estudio son las siguientes:

Tipo de emisión	Coche (g/km)	Autobús (g/km)
CO	26	5,7
COVDM	1	1,4
NO _x	1,2	5,4
PM	0,07	2,5

Tabla 21: Emisiones por tipología de vehículo. Fuente: Banco Mundial (1996)

Se adjuntan además otros valores para que sirvan como referencia:

- El informe "Misión Aire Puro – Proyecto Aire Puro Quito", elaborado por la Dirección de Medioambiente del DMQ (1998), establecía los siguientes factores de emisión para vehículos:

Fase: F.3. Estudio de Factibilidad de la primera línea del Metro de Quito

Actividad: A.3.5. Estudio de Viabilidad Socio Económica

Tipo de emisión	Gasolina (g/km)	Diesel (g/km)
CO	100	9
COVDM	10	3
NO _x	3	17
PM	0,1	5

Tabla 22: Emisiones de los vehículos por tipo de combustible. Fuente: Dirección de Medioambiente, DMQ (1998)

- Los estándares europeos de la emisión para coches de pasajeros y autobuses, que se reproducen en el siguiente cuadro:

Tipo de emisión	Coche – EURO 4 (g/km)		Autobús – EURO IV (g/kWh)
	Gasolina	Diesel	
CO	1,0	0,5	1,5
COVDM	0,10	-	0,46
NO _x	0,08	0,25	3,5
PM	-	0,025	0,02

Tabla 23: Estándares europeos de la emisión (2005).

A partir de estos datos y del número de km/año que realiza de media cada tipo de vehículo, se pueden calcular las emisiones totales en cada escenario.

EVALUACIÓN Y MONETARIZACIÓN DE LA DIFERENCIA DE CONTAMINACIÓN EN EL ESCENARIO BASE Y EL ESCENARIO CON PROYECTO

Utilizando los datos procedentes de los dos apartados anteriores, se ha calculado el valor económico asociado a la reducción de emisiones contaminantes en el escenario con proyecto. El resultado se muestra en el siguiente gráfico:

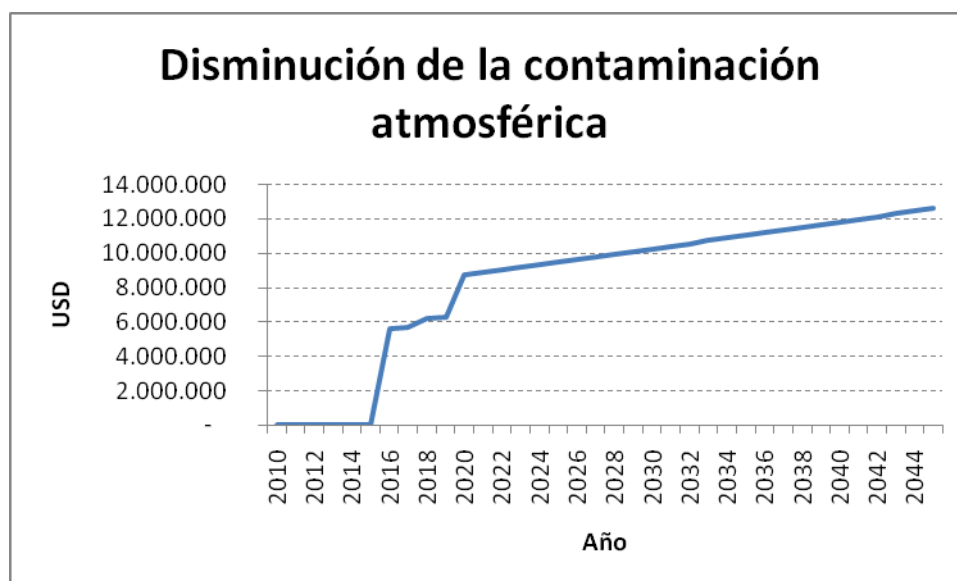


Ilustración 33: Estimación de la disminución en la contaminación atmosférica. Fuente: Elaboración propia.

El resultado es 5,6 MM USD para 2016, y 12,6MM USD para el año 2045.

4.4.2.5. Reducción en la emisión de gases con efecto invernadero

Diversos estudios muestran que el impacto del transporte en el cambio climático es producido por la emisión de gases de efecto invernadero. Destacan las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), gas metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O).

Estudios realizados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, en el observatorio de Quito, han detectado un incremento de las temperaturas medias y extremas en el último siglo.

Fase: F.3. Estudio de Factibilidad de la primera línea del Metro de Quito

Actividad: A.3.5. Estudio de Viabilidad Socio Económica

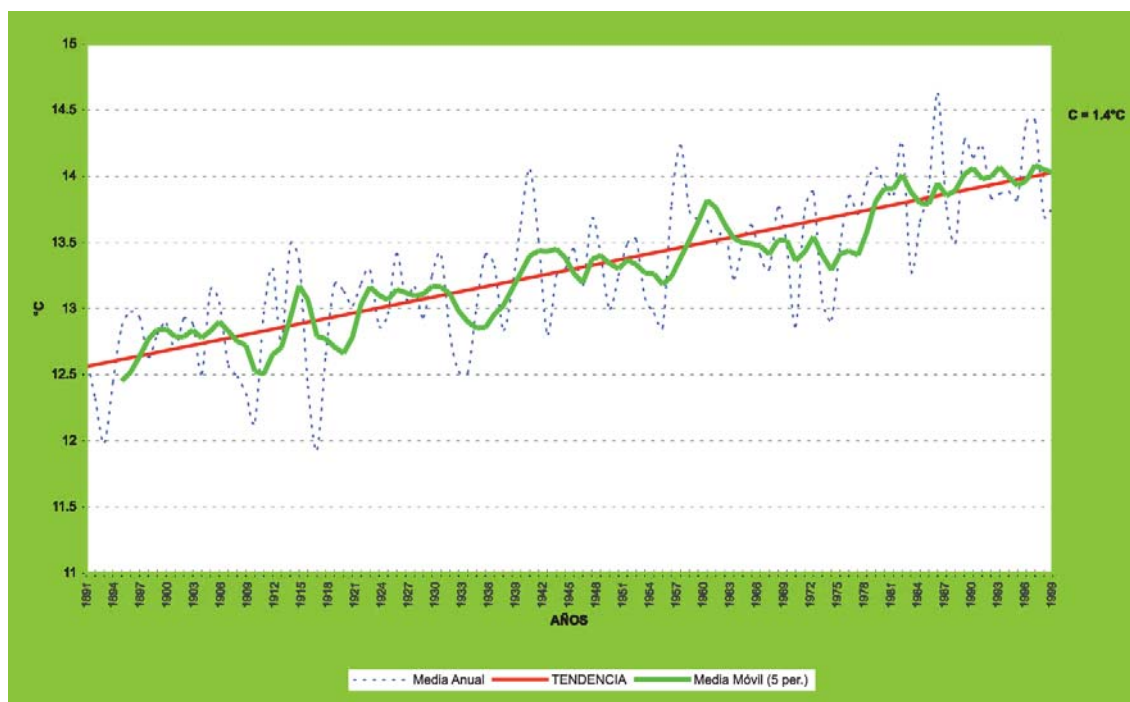


Ilustración 34: Temperatura Media Quito. Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

La evaluación económica del cambio climático es compleja. Los efectos del fenómeno son globales, a largo plazo y de muy diversa índole (inundaciones, cambios en las precipitaciones, aumento de la probabilidad de ocurrencia de desastres naturales, etc.), y sobre los que no existe en la actualidad un conocimiento exhaustivo. Las valoraciones que se realizan se centran en los efectos concretos sobre los que se dispone de un cierto conocimiento.

Para el cálculo del valor económico asociado a la disminución de emisiones que originan un efecto invernadero, se ha procedido en las siguientes etapas:

- Valoración económica del cambio climático (USD/T de CO₂)
- Estimación de las emisiones de CO₂ producidas por el parque de vehículos en el DMQ
- Evaluación y monetarización de la diferencia de contaminación en el escenario base y el escenario con proyecto

VALORACIÓN ECONÓMICA DEL CAMBIO CLIMÁTICO (USD/T DE CO₂)

Se dispone de un rango recomendado de valores monetarios para los efectos del cambio climático. Dichos costes se han obtenido de diversos estudios empíricos, que emplean costes de evitación.

Año de aplicación	Valor (€corrientes/T de CO ₂)	Valor (USD corrientes/T de CO ₂)
2010	25	36
2020	40	58
2030	55	79
2040	70	101

Tabla 24: Valores recomendados en Europa para los costes externos del cambio climático. Fuente: Maibach et al. (2008)

Adicionalmente, se dispone como referencia del valor de las emisiones del precio de venta de los Certificados de Reducción de Emisiones (CREs). Para el precio de los CRE se ha considerado 15€ de 2010/T de CO₂ reducida⁶⁵.

Finalmente se ha utilizado en el ACB el precio de venta de los CRE, por tratarse de un valor más conservador.

ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE CO₂ PRODUCIDAS POR EL PARQUE DE VEHÍCULOS EN EL DMQ

Diversos organismos especializados han cifrado las emisiones producidas por la combustión de un galón de combustible en 8,46 kg de CO₂⁶⁶.

Para realizar el cálculo del ahorro energético (apartado 4.4.2.3) se obtuvieron las cantidades de combustible consumidas en el DMQ por vehículos particulares y transportes colectivos convencionales, en el escenario base y en el escenario con proyecto.

De esta forma, se obtiene en total 1 Millón de Toneladas de CO₂ para el DMQ en el año 2010 procedentes del parque vehicular. Dicha cifra

⁶⁵ Fuente: Luis Endara, consultor MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio).

⁶⁶ Fuente: Environmental Protection Agency (EPA), Estados Unidos de América (<http://www.epa.gov/oms/climate/420f05004.htm#step1>); Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

tiene el mismo orden de magnitud que la estimada por CORPAIRE en 2003, que cifraba las emisiones de contaminantes en el DMQ en 2,5 MT/año, de las cuales el 73% procedía del tráfico vehicular.

Multiplicando la diferencia en el consumo de combustible entre el escenario con proyecto y el escenario base por 0,00846 Toneladas de CO₂ / galón se obtiene el ahorro de Toneladas de CO₂ que genera el proyecto.

EVALUACIÓN Y MONETARIZACIÓN DE LA DIFERENCIA DE CONTAMINACIÓN EN EL ESCENARIO BASE Y EL ESCENARIO CON PROYECTO

Utilizando los datos procedentes de los dos apartados anteriores, se ha calculado el valor económico asociado a la reducción de gases con efecto invernadero en el escenario con proyecto.

Los resultados se han reflejado en el siguiente gráfico:

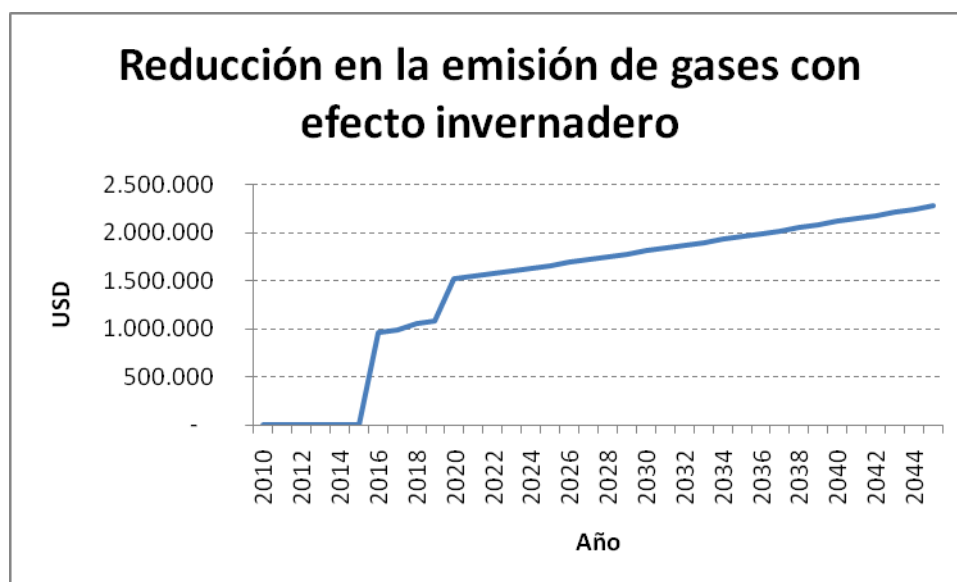


Ilustración 35: Estimación de la reducción en la emisión de gases con efecto invernadero. Fuente: Elaboración propia.

El resultado es 1,0 Millones de USD en 2016, y 2,3 Millones de USD en 2045⁶⁷.

⁶⁷Este cálculo considera que no se producen nuevas emisiones de CO₂ asociadas a la generación de electricidad para el funcionamiento del Metro. El futuro Metro recibirá energía de fuente hidroeléctrica

4.4.2.6. Disminución en la accidentabilidad

Los accidentes de tránsito constituyen la novena causa de muerte a nivel mundial. En Quito ocupan el cuarto puesto, con aproximadamente 19 muertes por cada 100.000 habitantes y año⁶⁸.

Según la Organización Mundial de la Salud (Peden et al., 2004), las 403 muertes por accidentes de tránsito ocurridas durante el año 2006 en Quito tendrían un coste económico superior a 60 MM USD.

Regiones	Muertes por accidentes de tránsito / 100.000 habitantes	
	Países de ingreso bajo y medio	Países de ingreso alto
África	28,3	-
Mediterráneo	26,4	19,0
Quito	18,9	-
Sudeste asiático	18,6	-
Pacífico Oeste	18,5	12,0
Europa	17,4	11,0
América	16,2	14,8

Tabla 25: Muertes por accidentes de tránsito. Fuente: BID (2010), Jacobs et al (1999), Koptis y Cropper (2003)

Se estima que los costes anuales de las lesiones causadas por los vehículos motorizados ascienden aproximadamente al 1% del Producto Interno Bruto (PIB) de los países de ingreso bajo y el 1,5% en los países de ingreso mediano⁶⁹. En la región de Latinoamérica y el Caribe se estima el coste de los accidentes de tránsito en el 1% del PIB⁷⁰.

En Ecuador se producen al año más de 43.000 accidentes de tránsito, con más de 2.900 víctimas mortales. Las pérdidas económicas se estiman cercanas a 500 MM USD, sin incluir los gastos sanitarios generados⁷¹. Esta cifra se situaría ligeramente por debajo del 1% del PIB del país.

Para la evaluación de la disminución de la accidentabilidad se ha tomado en el presente estudio la cifra de 1% del PIB como coste de

⁶⁸ Fuente: Banco Interamericano de Desarrollo, "Identificación y fortalecimiento de centralidades urbanas. El caso de Quito", julio de 2010.

⁶⁹ Fuente: Pamela Cox, Vicepresidente América Latina y el Caribe, Banco Mundial.

⁷⁰ Fuente: World Report on Traffic Injury Prevention.

⁷¹ Fuente: Washington Pesántez, Fiscal General del Ecuador (<http://noticias.latino.msn.com/latinoamerica/ecuador/articulos.aspx?cp-documentid=26283921>).

la accidentabilidad, lo que representa 620 MM de USD corrientes en 2011.

El PIB del DMQ se ha estimado utilizando como criterio la población. De esta forma se considera que los daños sociales ocasionados por un accidente son independientes de la renta de la región donde se producen. Considerando además el crecimiento de la población en el DMQ y en el Ecuador, la contribución del DMQ al PIB nacional pasa del 17,32% en 2010 al 24,95% en 2045. El coste de la accidentabilidad en el DMQ varía, en USD constantes de 2010, de 100 MM USD en 2010 hasta 454 MM USD en 2045.

La implementación de un sistema de Metro reduce los accidentes de tráfico. Un estudio realizado en Santiago de Chile identifica una disminución del 12%⁷². La Organización Panamericana de la Salud asocia la implementación del Transmilenio en Bogotá a una reducción del 7% anual en la siniestralidad⁷³.

Como aproximación para la reducción de la siniestralidad en el DMQ como consecuencia de la operación de la primera línea de Metro, se ha tomado la reducción en vehículos equivalente-km que se producirá en superficie. Esta cifra varía entre 2,26% y 3,26%, dependiendo del año.

⁷² Fuente: El Gran Impacto del Metro, Luis De Grange, 2000.

⁷³ Fuente: Informe Mundial sobre la prevención de traumatismos causados por accidentes de tránsito. Organización Panamericana de la Salud.

El resultado se muestra en el siguiente gráfico:

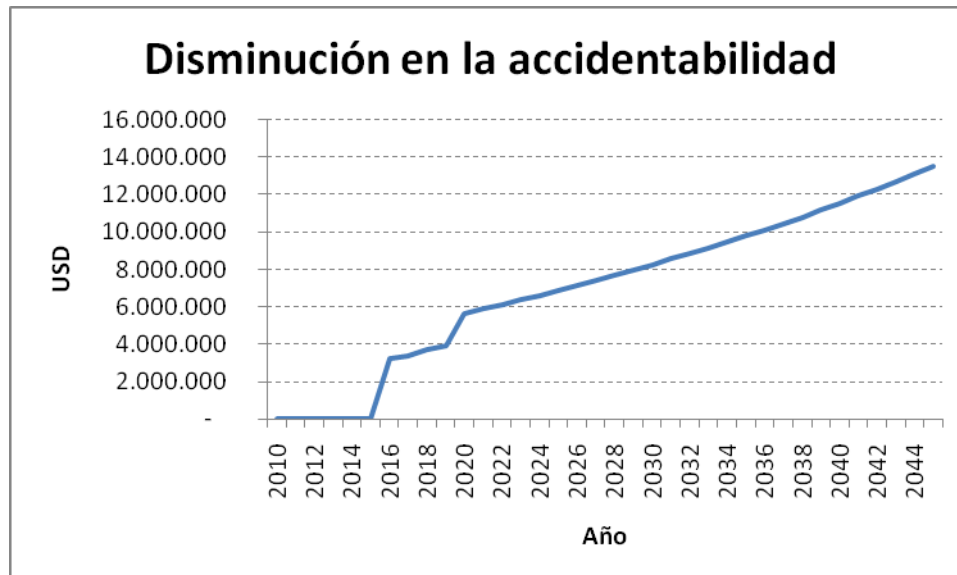


Ilustración 36: Estimación de la disminución en la accidentabilidad. Fuente: Elaboración propia.

El valor de la disminución en la accidentabilidad es de 3,2 MM USD en 2016 y 13,5 MM USD en 2045.

4.4.2.7. Disminución del ruido

El ruido es un efecto externo negativo que se produce durante la construcción y utilización de la mayoría de las infraestructuras de transporte. Esta externalidad repercute negativamente en la calidad de vida, de trabajo, recreativa, e incluso puede deteriorar la salud de las personas.

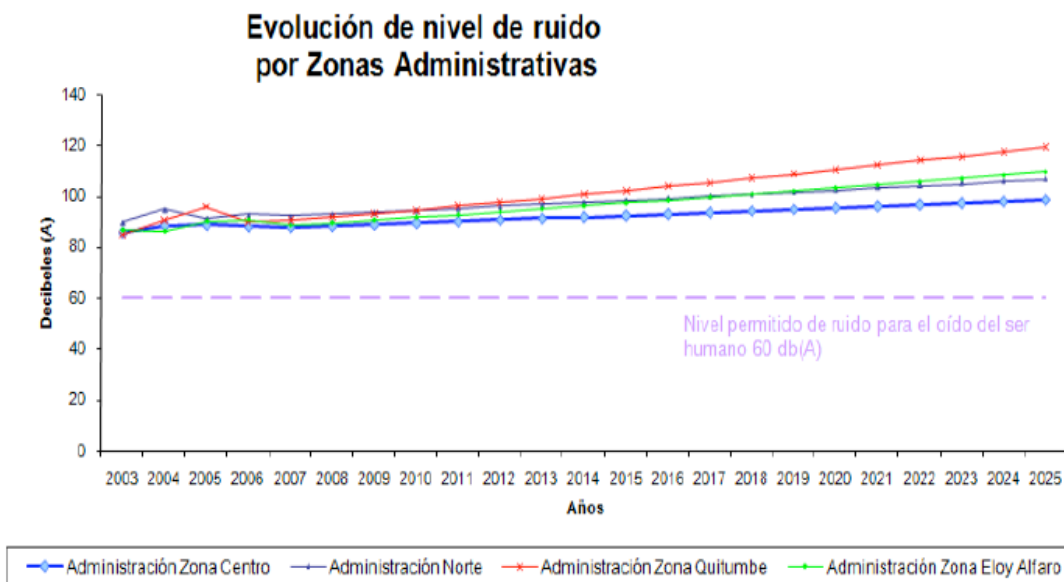


Ilustración 37: Niveles de ruido en la vía pública en el DMQ. Fuente: CORPAIRE 2007.

La construcción de la primera línea de Metro tendrá como consecuencia una disminución en el tráfico de superficie, lo que llevará aparejado una disminución en el ruido ocasionado por los vehículos.

La valoración económica de la disminución en el ruido se ha realizado a partir de las estimaciones realizadas por INFRAS-IWW para los países de la Unión Europea. Los ratios propuestos han sido trasladados a Ecuador utilizando las correspondientes tasas de cambio, poder adquisitivo e inflación.

	UE 17 (€de 2003/1000 pasajeros-km)	Ecuador (USD de 2010/1000 pasajeros-km)
Automóvil	5,7	1,71
Autobús	1,3	0,39

Tabla 26: Estimación de los costes medios del ruido procedente del transporte. Fuente: INFRAS-IWW, elaboración propia.

Utilizando la disminución de pasajeros-km entre el escenario con proyecto y el escenario base, y multiplicando dichos resultados por la valoración económica del ruido, se obtiene la siguiente valoración para esta externalidad:

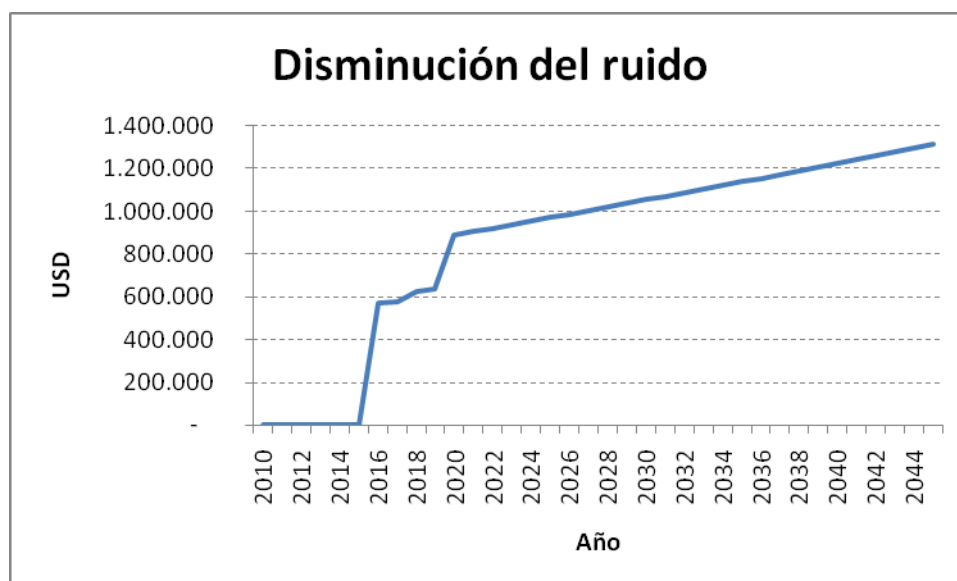


Ilustración 38: Estimación de las externalidades asociadas a la disminución de ruido. Fuente: elaboración propia.

Las externalidades adoptan un valor de 0,6 Millones de USD en 2016 y 1,3 Millones de USD en 2045.

4.4.2.8. Suma de los beneficios sociales del proyecto

Se resume en la siguiente tabla el Valor Actual Neto (VAN) de los diferentes beneficios sociales evaluados en los apartados anteriores (USD de 2010):

	Alternativa 1	Alternativa 2
Total	2.235.665.513	2.401.314.597
Productividad	1.851.938.962	1.976.551.858
Usuarios de Metro	1.093.796.784	1.174.960.667
Generación de nuevos viajes	23.560.738	24.792.198
Mayor fiabilidad del sistema	106.562.271	114.932.699
Disminución de congestión en superficie	787.862.575	834.265.343
Acceso y dispersión	-159.843.406	-172.399.049
Ahorro energético	78.401.000	86.239.440
Reducción en costes de operación vehicular	238.255.769	264.461.318
Reducción de la contaminación atmosférica	33.721.253	37.496.151
Cambio climático	5.683.422	6.256.537
Accidentabilidad	24.224.153	26.485.094

Fase: F.3. Estudio de Factibilidad de la primera línea del Metro de Quito

Actividad: A.3.5. Estudio de Viabilidad Socio Económica

Disminución del ruido	3.440.954	3.824.200
-----------------------	-----------	-----------

Tabla 27: Resumen de los beneficios sociales del proyecto

4.4.3. Valores residuales

Se ha calculado el valor residual de las inversiones y reinversiones realizadas al final del periodo de estudio (año 2045). El valor residual es igual al valor de las inversiones y las reinversiones, descontando las amortizaciones.

5. EVALUACIÓN SOCIO-ECONÓMICA DEL PROYECTO

En este apartado se realiza el balance entre costes y beneficios asociados al proyecto. Es necesario elegir una tasa de descuento que permita transformar los valores monetarios obtenidos anteriormente en una unidad común. De esta forma se pueden con posterioridad obtener indicadores (como el "Valor Actual Neto" o la "Tasa de Retorno Interno" que se describen más adelante) que permitan justificar la realización o abandono del proyecto.

Para una buena interpretación de los resultados del análisis coste beneficio, y una adecuada recomendación (objetivo último de un análisis coste beneficio) será necesario:

- El establecimiento de un periodo de análisis adecuado.
- El establecimiento de una tasa de descuento social.
- La actualización de todos los costes y beneficios a un mismo año de referencia.
- La elección de uno o varios criterios de decisión adecuados.

El periodo de análisis escogido viene definido en la metodología y se extiende desde el año 2010 hasta el año 2045.

El año base de referencia al cual deben actualizarse todos los valores de costes y beneficios obtenidos, es el año 2010. Dicha actualización se hace necesaria para poder realizar una adecuada comparación, al producirse los costes y beneficios en momentos diferentes de tiempo. Especial importancia para los resultados obtenidos tiene la fijación de la tasa de descuento social.

Los criterios de elección utilizados para comparar entre alternativas serán los habituales en todo análisis coste beneficio: el Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno.

Por último se efectúa un análisis de sensibilidad. El ACB utiliza varias hipótesis, que si bien adoptan valores que se determinan de forma justificada podrían en la realidad tener valores distintos. El análisis de sensibilidad determina en qué medida el resultado del ACB se ve afectado por variaciones en dichas variables clave.

5.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

5.1.1. Tasa de descuento social

Se ha utilizado una tasa de descuento social de 12% en términos reales, igual a la utilizada por la SENPLADES.

Esta tasa de descuento es la utilizada normalmente en el análisis socio-económico de proyectos en la región de América Latina.

5.1.2. Valor Actual Neto (VAN)

Es el método de valoración más utilizado y preciso para la selección de alternativas en los análisis coste beneficio. Su valor se calcula de la siguiente forma:

$$VAN = \sum_{t=0}^{t=k} \frac{(B - C)_t}{(1 + r)^t} = \sum_{t=0}^{t=k} \frac{B_t}{(1 + r)^t} - \sum_{t=0}^{t=k} \frac{C_t}{(1 + r)^t}$$

Ecuación 4: Fórmula para el cálculo del Valor Actual Neto

Siendo: B : beneficios anuales futuros en USD constantes.
 C : costes anuales futuros en USD constantes.
 r : tasa de descuento social
 k : número de años desde el año base

Para la selección de una alternativa según el criterio del valor actual neto, la alternativa debe cumplir que su valor actual neto sea positivo.

El Valor Actual Neto del proyecto resulta ser de 1.025 Millones de USD de 2010 para la Alternativa 1 y 1.129 Millones de USD de 2010 para la Alternativa 2.

Fase: F.3. Estudio de Factibilidad de la primera línea del Metro de Quito

Actividad: A.3.5. Estudio de Viabilidad Socio Económica

En la siguiente tabla se han resumido los cálculos asociados a dichas cifras:

VAN en Millones de USD de 2010 (tasa de descuento = 12%)	Alternativa 1	Alternativa 2
Beneficios	<u>2.235.665.513</u>	<u>2.401.314.597</u>
Productividad	1.851.938.962	1.976.551.858
Usuarios de Metro	1.093.796.784	1.174.960.667
Generación de nuevos viajes	23.560.738	24.792.198
Mayor fiabilidad del sistema	106.562.271	114.932.699
Disminución de congestión en superficie	787.862.575	834.265.343
Acceso y dispersión	-159.843.406	-172.399.049
Ahorro energético	78.401.000	86.239.440
Reducción en costes de operación vehicular	238.255.769	264.461.318
Reducción de la contaminación atmosférica	33.721.253	37.496.151
Cambio climático	5.683.422	6.256.537
Accidentabilidad	24.224.153	26.485.094
Disminución del ruido	3.440.954	3.824.200
Costes	<u>-1.211.010.568</u>	<u>-1.272.417.338</u>
Inversión	-966.861.282	-1.015.401.063
Reinversión	-35.529.918	-37.157.422
Operación y mantenimiento	-154.518.639	-161.157.254
Afectaciones de obra	-54.100.730	-58.701.598
Valor residual	<u>10.032.455</u>	<u>8.013.468</u>
Balance (Beneficios – Costes + Valor residual)	<u>1.025.060.629</u>	<u>1.128.897.259</u>

Tabla 28: Balance Costes-Beneficios utilizando el VAN, en USD de 2010.

Nótese que el valor de las inversiones no coincide con el que figura en el estudio económico-financiero, al considerarse en este trabajo precios sombra y utilizar la tasa de descuento social (12% en términos reales) para el cálculo de su VAN.

El análisis cuantitativo muestra que el principal beneficio del proyecto, en cualquiera de las Alternativas consideradas, consiste en la ganancia en productividad (ahorros de tiempo) generada.

Si se consideran exclusivamente los beneficios sociales derivados de la productividad, el ahorro energético y la reducción en costes de

operación vehicular, el VAN de las dos Alternativas estudiadas sigue siendo superior al 90% del que se obtuvo anteriormente:

VAN en Millones de USD de 2010 (tasa de descuento = 12%)	Alternativa 1	Alternativa 2
Beneficios	<u>2.168.595.731</u>	<u>2.327.252.616</u>
Productividad	1.851.938.962	1.976.551.858
Ahorro energético	78.401.000	86.239.440
Reducción en costes de operación vehicular	238.255.769	264.461.318
Costes	<u>-1.211.010.568</u>	<u>-1.272.417.338</u>
Valor residual	<u>10.032.455</u>	<u>8.013.468</u>
Balance (Beneficios – Costes + Valor residual)	<u>967.617.618</u>	<u>1.062.848.746</u>

Tabla 29: VAN del ACB considerando exclusivamente los beneficios más importantes.

5.1.3. Tasa Interna de Retorno

Es la tasa de descuento que permite que el valor actual neto de las inversiones se iguale a cero en el periodo considerado. La elección de una alternativa según el criterio de la tasa interna de retorno, se realizará siempre que dicha tasa supere a una tasa establecida como mínima para el caso base (en el presente estudio se establece en un 12%, como se indicó anteriormente).

En el caso del proyecto considerado la TIR del Análisis Coste Beneficio se resume en la siguiente tabla:

Tasa Interna de Retorno	
Alternativa 1	19,05%
Alternativa 2	19,43%

Tabla 30: Tasa Interna de Retorno de las dos Alternativas.

En las dos alternativas la TIR se sitúa por encima de la tasa de descuento social, lo que indica que el proyecto es socialmente rentable.

5.1.4. Tasa de Retorno Social Inmediato del proyecto (TRIS)

La TRIS ofrece una idea del porcentaje que representa el beneficio social obtenido en el primer año de operación de la línea sobre la inversión necesaria.

Para su cálculo se obtiene por un lado el VAN correspondiente a los beneficios del primer año de operación de la línea (2016), y por otro el VAN de las inversiones necesarias.

El valor de la TRIS del proyecto en cada una de las tres alternativas consideradas se recoge en la siguiente tabla:

	Tasa de Retorno Social Inmediato
Alternativa 1	11,30%
Alternativa 2	13,79%

Tabla 31: Tasa de Retorno Social Inmediato de las dos Alternativas.

Cuando esta tasa se sitúa por encima de la tasa de descuento social el proyecto es rentable desde su entrada en servicio.

5.1.5. Ratio beneficio-coste

El ratio beneficio-coste se define como el cociente de los valores actuales netos de beneficios y costes sociales del proyecto.

El resultado para la primera línea del Metro de Quito se resume en la siguiente tabla:

	Ratio beneficio-coste
Alternativa 1	1,85
Alternativa 2	1,89

Tabla 32: Ratio Beneficio-Coste de las dos Alternativas.

Cuando el ratio beneficio-coste es superior a la unidad, los beneficios del proyecto son superiores a sus costes, lo cual demuestra la rentabilidad del proyecto.

5.1.6. Periodo de retorno

El periodo de retorno de una inversión se define como el período que tarda en recuperarse la inversión inicial a través de los flujos generados por el proyecto.

Para su cálculo, se determina el periodo de tiempo necesario para que el VAN de los beneficios sociales iguale al VAN de los costes sociales.

El periodo de retorno de la primera línea del Metro de Quito se resume, para las 2 Alternativas consideradas, en el siguiente cuadro:

	Periodo de retorno (años desde 2010)
Alternativa 1	17
Alternativa 2	16

Tabla 33: Periodo de retorno de las dos Alternativas.

5.2. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS ACBS DE OTRAS LÍNEAS DE METRO

Se ha realizado un exhaustivo análisis de varios estudios de caso de líneas de Metro en otras ciudades, situadas en su mayor parte en América Latina⁷⁴.

El objetivo ha sido obtener una referencia internacional sobre los estudios realizados en otras ciudades, y los efectos que la construcción de un Metro ha producido en la ciudad.

Resulta complicado evaluar los beneficios socio-económicos que realmente aporta un proyecto de estas características en el largo plazo. La principal dificultad reside en conseguir aislar los efectos del Metro del resto de actuaciones y cambios que se producen.

⁷⁴ Las ciudades analizadas han sido Méjico DF, Caracas, Santiago de Chile, Buenos Aires, Río de Janeiro, Sao Paulo, Lima, Santo Domingo y Dublín.

Otro elemento que dificulta la comparación es la gran diferencia que existe entre proyectos. Incluso para un mismo tipo de infraestructura, la demanda y demás condiciones locales pueden generar resultados muy diferentes.

No obstante, del estudio realizado se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Aumento de la productividad: Las reducciones en los tiempos de viaje y su valoración económica (CTV o Costo del Tiempo de Viaje) varía significativamente de un proyecto a otro. En general las reducciones en tiempos de desplazamiento para los viajeros que pasan a utilizar el metro son elevadas (48 minutos por trayecto en hora punta en el caso de Santo Domingo y hasta 52 minutos en el caso de la línea 12 del metro de Ciudad de México).
 - **Valor del tiempo**: En los casos estudiados varía entre 0,3-0,8 US\$/h para el Metro de Lima, 1,2 US\$/h para el de Santo Domingo y 2,7 US\$/h de media para el de México DF.
- Generación de empleo: Las cifras disponibles permiten estimar una generación de empleo directo de alrededor de 200 a 250 empleos directos durante la fase de construcción por km y año. Las cifras sobre el empleo indirecto son poco significativas.

En la siguiente tabla se comparan los resultados obtenidos para la primera línea del Metro de Quito (Alternativa 1) con los beneficios socio-económicos esperados en la línea 12 del Metro de México, en el Metro de Santo Domingo y los resultados de la Prefactibilidad elaborada por la UNMQ:

	Línea 12 México			Santo Domingo (14,5 km)		Prefactibilidad UNMQ (21 km)		Análisis SE (Alternativa 1)	
Longitud de la línea (km)	24,5			14,5		21		28	
Demanda (Millones pasajeros 1er año operación)	130			17,5		186		108,7	
Años considerados en el análisis socio-económico (años)	34			35		36		35	
Análisis de Beneficios Socio-Económicos	Pesos Mx 2009	MM USD 2010	MM USD 2010/km	MM USD 2010*	MM USD 2010/km	MM USD 2010	MM USD 2010/km	MM USD 2010	MM USD 2010/km
Productividad	31.213.199.887	1.284,8	52,4	108,4	7,5	972,5	46,3	1.851,9	71,8
Ahorro en tiempo				50,4	3,5	775,5	36,9	1.093,8	39,1
Generación de nuevos viajes								23,6	0,8
Mayor fiabilidad del sistema								106,6	3,8
Disminución de la congestión				57,9	4,0	197,0	9,4	787,9	28,1
Acceso y dispersión								159,8	
Consumo energético						190,3	9,1	78,4	2,8
Reducción COV	2.486.050.104	102,3	4,2					238,3	8,5
Reducción de accidentabilidad						142,8	6,8	24,2	0,9
Contaminación	80.971.166	3,3	0,1			34,1	1,6	33,7	1,2
Cambio climático						14,0	0,7	5,7	0,2
Ruido								3,4	0,1
TOTAL		1.390,5	56,8			1.353,8	64,5	2.235,7	79,8

Tabla 34: Comparación de los beneficios socio-económicos de la primera línea del Metro de Quito (Alternativa 1) con los resultados de otros estudios. Fuente: Ciudad de México, Naciones Unidas, UNMQ y elaboración propia.

* Basado en unas ganancias anuales de 12,8 MM USD por ahorro en tiempo, y 14,7 MM USD por disminución de la congestión.

De la tabla anterior se obtienen las siguientes conclusiones:

- Los beneficios valorados para el Metro de Sto. Domingo parecen muy bajos.
- Los resultados obtenidos para el Metro de Quito en el presente trabajo son más elevados que los de los otros estudios. Entre las principales causas figuran:
 - La valoración de efectos que no han sido cuantificados en los otros estudios (como por ejemplo la reducción de la accidentabilidad en México, o la reducción de los costes de operación vehicular en la prefactibilidad).
 - Las diferencias en el entorno donde se ubicarán los proyectos (diferentes niveles de congestión y contaminación).
 - Los beneficios marginales decrecientes que se obtienen con la acumulación de stock de capital: La rentabilidad de la primera línea de Metro es por lo general superior a la de las líneas que se construyen posteriormente. De lo contrario, la priorización en las inversiones se habría modificado. De esta forma, se puede explicar que los beneficios de la primera línea de Metro en una ciudad sean superiores a los arrojados por la décimo segunda línea de Metro en otra ciudad.

5.3. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El resultado de todo análisis coste beneficio depende de gran cantidad de predicciones, supuestos, estimaciones y aproximaciones de la realidad que pueden introducir errores en la valoración de las alternativas. Por ello, es importante señalar cómo afecta al resultado del análisis la variación de cada uno de dichos parámetros.

Este aspecto justifica la realización de un análisis de sensibilidad, que recoja cómo afecta a la valoración del proyecto (valor actual neto y tasa interna de retorno del proyecto), determinados cambios en las principales variables y supuestos establecidos.

Así, se han estudiado los efectos que se producen en los resultados del ACB cuando se modifican los valores de los siguientes parámetros:

- Inversión en infraestructura.
- Costes de operación y mantenimiento.
- Viajeros de Metro.

- Valor del tiempo.
- Zona en superficie afectada por la descongestión.
- Tasa de descuento social.

5.3.1. Sensibilidad de los resultados a la inversión y los costes de operación y mantenimiento

En este apartado se estudia cómo afectan a la TIR y el VAN del proyecto variaciones en el monto de la inversión en infraestructura y en los costes de operación y mantenimiento.

Las variaciones que se obtienen en el Valor Actual Neto del Proyecto se recogen en la siguiente tabla:

VAN en MM de USD de 2010		Costes de explotación				
		0%	10%	20%	30%	40%
Inversión en infraestructura	0%	1025	1009	994	978	963
	5%	976	961	945	930	915
	10%	928	913	897	882	866
	15%	880	864	849	833	818
	20%	831	816	800	785	769
	30%	735	719	704	688	673

Tabla 35: Sensibilidad del VAN a la inversión en infraestructura y los costes de explotación (Alternativa 1).

Si se produjese un aumento del 20% en la inversión en infraestructura y un 30% en los costes de operación y mantenimiento, el VAN del proyecto sería de 704 MM de USD de 2010 (frente a los 1025 MM de USD de 2010 estimados inicialmente). El proyecto seguiría siendo rentable, al ser el VAN superior a 0.

Las variaciones que se obtienen en la TIR del Proyecto se recogen en la siguiente tabla:

		Costes de explotación				
		0%	10%	20%	30%	40%
Inversión en infraestructura	0%	19,1%	18,9%	18,8%	18,7%	18,6%
	5%	18,5%	18,4%	18,3%	18,2%	18,1%
	10%	18,0%	17,9%	17,8%	17,7%	17,6%
	15%	17,6%	17,5%	17,4%	17,3%	17,2%
	20%	17,1%	17,0%	16,9%	16,8%	16,8%
	30%	16,3%	16,2%	16,1%	16,1%	16,0%

Tabla 36: Sensibilidad de la TIR a la inversión en infraestructura y los costes de explotación (Alternativa 1).

Incluso suponiendo un aumento de las inversiones en +30% y de los costos en +40% la TIR del proyecto está por encima de 12%, lo que indica la robustez del resultado obtenido.

5.3.2. Sensibilidad de los resultados al número de viajeros de Metro y el valor del tiempo

En este apartado se estudia cómo afectan a la TIR y el VAN del proyecto variaciones en el número de usuarios del Metro y en el valor subjetivo del tiempo.

Las variaciones que se obtienen en el Valor Actual Neto del Proyecto se recogen en la siguiente tabla:

VAN en MM de USD de 2010		Viajeros de Metro				
		-20%	-10%	0%	10%	20%
Valor del tiempo	0%	597	812	1025	1235	1444
	-5%	524	731	935	1137	1337
	-10%	452	649	845	1038	1230
	-15%	380	568	755	940	1123
	-20%	307	487	665	841	1016
	-30%	163	325	485	644	802

Tabla 37: Sensibilidad del VAN al número de viajeros y al valor del tiempo (Alternativa 1)

Incluso para una disminución de viajeros del 20% frente a la estimación actual y una disminución del valor del tiempo del 30%, que ocurran de forma simultánea, el proyecto seguiría siendo rentable.

Las variaciones que se obtienen en la TIR del Proyecto se recogen en la siguiente tabla:

		Viajeros de Metro				
		-20%	-10%	0%	10%	20%
Valor del tiempo	0%	16,5%	17,8%	19,1%	20,2%	21,4%
	-5%	16,0%	17,3%	18,6%	19,7%	20,8%
	-10%	15,5%	16,8%	18,0%	19,2%	20,3%
	-15%	15,1%	16,3%	17,5%	18,6%	19,7%
	-20%	14,6%	15,8%	17,0%	18,1%	19,1%
	-30%	13,5%	14,7%	15,8%	16,9%	17,9%

Tabla 38: Sensibilidad de la TIR frente a variaciones en el número de viajeros y cambios en el valor del tiempo.

Se concluye que el resultado del análisis es robusto frente a cambios en estos parámetros.

5.3.3. Sensibilidad de los resultados a la tasa de descuento social y a la descongestión del tráfico en superficie

En este apartado se estudia cómo afectan a la TIR y el VAN del proyecto cambios en la tasa de descuento social (que se ha fijado en 12%), y a la descongestión del tráfico (que se ha supuesto un 47% del total posible, según lo expuesto en el apartado 4.4.2.1.5 – es decir, considerando que solo afecta a los viajes al Hipercentro).

Las variaciones que se obtienen en el Valor Actual Neto del Proyecto se recogen en la siguiente tabla:

VAN en MM de USD de 1010		Tasa de descuento social				
		10%	11%	12%	13%	14%
Efecto de la descongestión	17%	1032	747	522	342	199
	27%	1268	946	689	485	321
	37%	1503	1144	857	628	444
	47%	1739	1342	1025	770	566
	57%	1974	1540	1192	913	688
	67%	2210	1738	1360	1056	810

Tabla 39: Sensibilidad del VAN a la tasa de descuento social y la descongestión en superficie (Alternativa 1).

Las variaciones que se obtienen en la TIR del Proyecto se recogen en la siguiente tabla:

		Tasa de descuento social				
		10%	11%	12%	13%	14%
Zona afectada por la descongestión	17%	16,0%	16,0%	16,0%	16,0%	16,0%
	27%	17,1%	17,1%	17,1%	17,1%	17,1%
	37%	18,1%	18,1%	18,1%	18,1%	18,1%
	47%	19,1%	19,1%	19,1%	19,1%	19,1%
	57%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%
	67%	20,8%	20,8%	20,8%	20,8%	20,8%

Tabla 40: Sensibilidad de la TIR a la tasa de descuento social y la descongestión en superficie (Alternativa 1).

Se concluye que el resultado del análisis es robusto frente a cambios en estos parámetros.

5.3.4. Sensibilidad de los resultados a un mayor coste de la inversión y una reducción de la demanda

Se ha considerado interesante evaluar de forma conjunta los efectos de un mayor coste de la inversión y una reducción en la demanda.

Se trata de los dos parámetros clave que, tradicionalmente, han sido subestimados y sobrestimados respectivamente en los estudios de factibilidad de líneas de Metro que se han realizado en la región⁷⁵.

Las variaciones que se obtienen en el Valor Actual Neto del Proyecto se recogen en la siguiente tabla:

		Viajeros de Metro				
		-40%	-30%	-20%	-10%	0%
Inversión en infraestructura	0%	160	379	597	812	1025
	10%	63	283	500	715	928
	20%	-34	186	403	618	831
	30%	-130	89	307	522	735
	40%	-227	-7	210	425	638
	50%	-324	-104	113	328	541

Tabla 41: Sensibilidad del VAN al número de viajeros y la inversión en infraestructura (Alternativa 1).

Se comprueba que es necesaria una fuerte variación simultánea y adversa de ambos parámetros para que el proyecto pierda su rentabilidad socio-económica (por ejemplo, el proyecto seguiría siendo rentable con una disminución de la demanda del 30% frente a la prevista inicialmente, y un aumento simultáneo de la inversión en infraestructura del 30%).

Las variaciones que se obtienen en la TIR del Proyecto se recogen en

⁷⁵ “Cost Overruns and demand shortfalls in urban rail and other infrastructure”, Bent Flyvbjerg, 2007

la siguiente tabla:

		Viajeros de Metro				
		-40%	-30%	-20%	-10%	0%
Inversión en infraestructura	0%	13,4%	15,0%	16,5%	17,8%	19,1%
	10%	12,6%	14,2%	15,5%	16,8%	18,0%
	20%	11,9%	13,4%	14,7%	16,0%	17,1%
	30%	11,3%	12,7%	14,0%	15,2%	16,3%
	40%	10,8%	11,9%	13,4%	14,5%	15,6%
	50%	10,3%	11,6%	12,8%	13,9%	14,9%

Tabla 42: Sensibilidad de la TIR al número de viajeros y la inversión en infraestructura (Alternativa 1).

Se concluye que el resultado es robusto frente a variaciones simultáneas de ambos parámetros.

5.4. CONCLUSIONES DEL ACB

El resumen de los resultados obtenidos en el Análisis Coste Beneficio se adjunta en la siguiente tabla:

	Alternativa 1	Alternativa 2
VAN		
Tasa de descuento social del 12% MM de USD de 2010	1.025	1.129
TIR	19,05%	19,43%
TRSI	11,30%	13,79%
Ratio Beneficio-Costo	1,85	1,89
Periodo de retorno	17	16
Años desde 2010		

Tabla 43: Resumen de los resultados obtenidos en el ACB para las Alternativas estudiadas.

El proyecto presenta una gran rentabilidad socio-económica en las dos Alternativas estudiadas. El VAN es elevado y la TIR se sitúa muy por encima de la tasa de descuento social (12%).

La diferencia entre la TIR y la TRSI indica que el proyecto gana en rentabilidad según van transcurriendo los años (y conforme aumenta el número de usuarios del Metro).

Los resultados obtenidos son robustos. Incluso con variaciones negativas importantes en las variables clave el proyecto sigue siendo rentable desde un punto de vista socio-económico (el VAN del proyecto sigue siendo superior a 0 y la TIR se sitúa por encima de la tasa de descuento social).

6. VALORACIÓN DE OTROS IMPACTOS SOCIO-ECONÓMICOS⁷⁶

Además de las externalidades analizadas y valoradas en el ACB, el proyecto de la primera línea de Metro de Quito producirá otros impactos socio-económicos que no pueden ser monetarizados, o que siendo monetarizables no deben formar parte, desde un punto de vista metodológico, del ACB. Estos efectos han sido analizados en el presente capítulo.

Los principales efectos que no han sido evaluados en el análisis coste beneficio y que deben ser considerados por su relevancia son los siguientes:

- Creación de empleo
- Efecto red
- Recuperación de áreas urbanas
- Transferencia de conocimiento tecnológico
- Impacto en la pobreza
- Desarrollo urbano
- Mejora del potencial de crecimiento y desarrollo económico
- Alineamiento con los objetivos del Plan del Buen Vivir.

6.1. CREACIÓN DE EMPLEO

El proyecto conlleva la creación de un número importante de empleos de calidad, tanto temporales, durante la fase de construcción, como permanentes, durante la fase de explotación.

Considerando la situación de desempleo y subempleo actual en la ciudad de Quito, se trata de un impacto social muy importante que generará el proyecto.

⁷⁶ Para la realización de este apartado se valoró la posibilidad de realizar un Análisis Multicriterio. Finalmente se descartó dicha opción debido a la gran similitud que presentan las alternativas estudiadas en la consecución de objetivos recogidos en el Plan Nacional del Buen Vivir.

Se estima que durante la fase de construcción habrá 0,0082 horas trabajadas por USD de 2010 invertido, para un proceso constructivo como el del Metro⁷⁷. Considerando un periodo efectivo de construcción de 3 años, esto supondría la creación de unos 1.800 empleos durante tres años en el tramo Quitumbe-Jipijapa, más 400 empleos durante tres años en el tramo Jipijapa-La Ofelia. Estas cifras están por debajo de las procedentes del estudio de casos que se realizó (200 a 250 empleos por km de línea y año, lo que supondría 4.400-4.500 empleos durante tres años para el tramo Quitumbe-Jipijapa y 1.100-1.400 empleos durante tres años para el tramo Jipijapa-La Ofelia). La explicación reside en el elevado grado de mecanización que habrá durante la construcción del Metro de Quito, debido a los procesos constructivos previstos.

Durante la fase de explotación se crearán numerosos puestos de trabajo, que tendrán además un carácter permanente:

	2016 ⁷⁸	2025	2035	2045
Personal Total	748	1.048	1.110	1.155
Conductores de trenes	75	130	155	175
Personal de estaciones (sin mantenimiento y limpieza)	224	304	304	304
Supervisores	30	30	30	30
Vigilantes	169	240	256	268
Trenes	45	79	94	106
Estaciones	106	144	144	144
Centro de control	18	18	18	18
Otro personal operativo (eventuales, otras categorías profesionales)	50	70	75	78
Personal de mantenimiento	170	240	260	270
Estructura EPMMQ	30	30	30	30

Tabla 44: Estimación del personal necesario para la operación del Metro. Fuente: elaboración propia.

Los efectivos de personal operativo y de mantenimiento aumentarán según vaya creciendo la actividad del Metro.

6.2. EFECTO RED: VERTEBRACIÓN NORTE-SUR DEL SITM

⁷⁷ Fuente: Equipo técnico de Metro de Madrid.

⁷⁸ Valores para la Alternativa 1

Una acción concreta en una parte de un sistema de transporte integrado puede tener efectos sustanciales en otras partes del sistema. Los proyectos ferroviarios son, por su propia naturaleza, muy sensibles a este tipo de efectos.

La actual configuración de la ciudad, con un Hipercentro congestionado, crea dos entornos aislados que tienen dificultades para interaccionar: la parte Norte de la ciudad y la parte Sur del DMQ.

La línea de Metro se convertirá en el eje vertebrador del futuro Sistema Integrado de Transporte Masivo del DMQ. Se mejorará sensiblemente la conexión entre el Norte y el Sur de la ciudad, facilitando su funcionamiento como un único núcleo en lugar de dos núcleos separados.

La liberación de recursos asociada al proyecto, concretamente instalaciones y material rodante de los BRT's, permitirá su utilización en otras zonas de la ciudad.

El proyecto Metro se plantea así como un paso coherente en la configuración de la red integrada de transporte público municipal. Su función será sustituir a los elementos de la red de capacidad intermedia próximos a la saturación y liberar con ello recursos para su utilización en zonas urbanas con capacidad de mejora en materia de transporte colectivo.

6.3. RECUPERACIÓN DE ÁREAS URBANAS

La creación de un corredor de transporte público norte sur de tipo subterráneo permite la retirada de modos de transporte superficial que ocupan suelo urbano. Cuando el sistema esté operativo será posible por lo tanto recuperar espacios que hoy están tomados por los vehículos.

Algunos ejemplos concretos de áreas urbanas que podrían ser recuperadas o potenciadas para un mayor provecho de los ciudadanos gracias a la implementación del proyecto son:

- El Centro Histórico.
- Grandes vías:

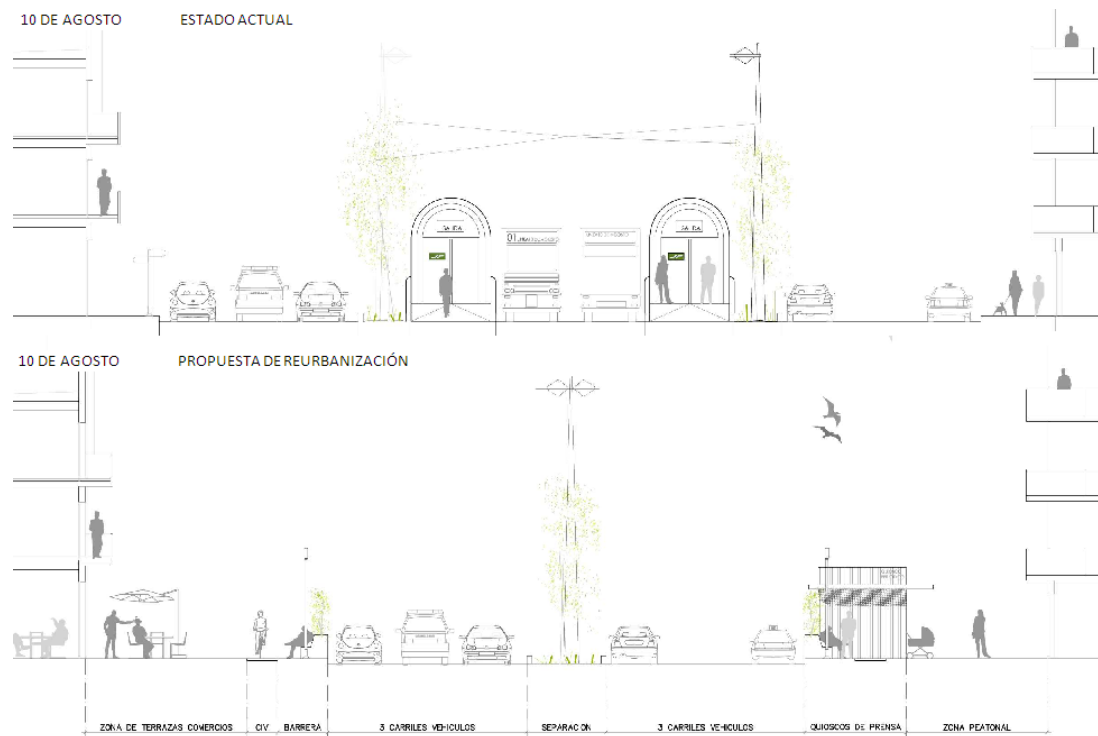
- La Avenida 10 de agosto.
 - La Avenida Pedro Vicente Maldonado.
 - La Avenida América.
- El emplazamiento del actual aeropuerto Mariscal Sucre.
- La zona de La Magdalena.
- Las zonas de los emplazamientos de las principales estaciones:
 - Jipijapa
 - La Carolina
 - El Ejido
 - El Recreo
 - Morán Valverde

La construcción del Metro posibilitaría la recuperación del centro histórico para los ciudadanos mediante una amplia peatonalización del Centro sin el riesgo de que éste pierda, al restringirse la accesibilidad al mismo mediante los otros modos de transporte, la vitalidad que le caracteriza actualmente como núcleo de atracción de viajes. Esto es posible al mantenerse la accesibilidad al mismo mediante un modo de transporte subterráneo.

La retirada de los BRT's en carril exclusivo de varias de las grandes avenidas longitudinales de la ciudad permitiría la reurbanización de las mismas y la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos. La ampliación del número de carriles destinados al tráfico libre permitiría aliviar la congestión en esas zonas. Otras posibilidades no excluyentes contempladas habitualmente en los proyectos de recuperación incluyen ampliación de aceras, creación de paseos arbolados y retirada de las paradas y otros elementos de los carriles de uso exclusivo. De esta forma se consigue disminuir el impacto visual y sonoro, reducir la contaminación y con todo ello revitalizar la vida en la calle y el comercio local.

Fase: F.3. Estudio de Factibilidad de la primera línea del Metro de Quito

Actividad: A.3.5. Estudio de Viabilidad Socio Económica



Propuesta de reurbanización de la Avenida 10 de Agosto. Fuente: TYM Asociados.

La liberación de los terrenos ocupados por el aeropuerto Mariscal Sucre abre enormes posibilidades para la ciudad, posibilidades que se verían multiplicadas por el proyecto del Metro. El actual aeropuerto es una barrera entre los lados este y oeste de la ciudad que se va a hacer desaparecer. Para ello resulta imprescindible potenciar los movimientos transversales este-oeste. El trazado del eje fundamental de transporte público municipal a lo largo de esta antigua "barrera" tendría un efecto cosido sumamente eficaz. El proyecto Metro permitiría multiplicar los efectos beneficiosos para la ciudad del desarrollo de los terrenos liberados. En las siguientes imágenes se ofrece, únicamente a título de ejemplo, una perspectiva de una posible forma de desarrollo de la zona del aeropuerto.

Fase: F.3. Estudio de Factibilidad de la primera línea del Metro de Quito

Actividad: A.3.5. Estudio de Viabilidad Socio Económica



Propuesta de desarrollo de la zona Aeropuerto Mariscal Sucre. Fuente: TYM Asociados.



Propuesta de desarrollo de la zona Aeropuerto Mariscal Sucre. Fuente: TYM Asociados.

Los futuros intercambiadores entre los sistemas alimentadores y el Metro son otras zonas urbanas beneficiadas por el desarrollo del proyecto. Los incrementos de tráfico de pasajeros configuran estos nudos no solo como intercambiadores de transporte sino también como intercambiadores urbanos, sociales, comerciales y culturales. Algunas de estas zonas, como El Ejido o Jipijapa podrían potenciarse mediante un adecuado reordenamiento urbano en superficie apoyando a la obra subterránea. Otros puntos actualmente menos desarrollados y con capacidad de crecimiento, como La Magdalena o El Recreo, podrían ser objeto de actuaciones de más entidad, en

Fase: F.3. Estudio de Factibilidad de la primera línea del Metro de Quito

Actividad: A.3.5. Estudio de Viabilidad Socio Económica

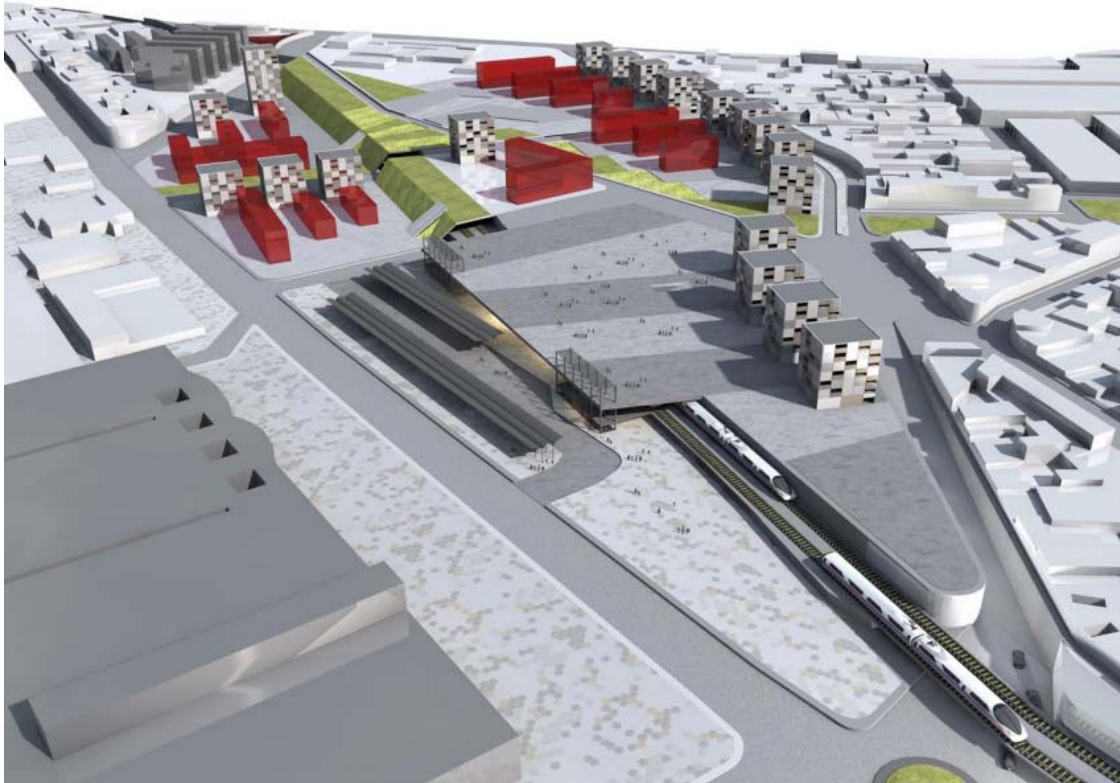
forma de centros comerciales culturales, desarrollos residenciales o centros culturales.



Propuesta de peatonalización y reurbanización de Jipijapa. Fuente: TYM Asociados.



Propuesta de reurbanización de la zona de Jipijapa: Corredor verde. Fuente: TYM Asociados.



Propuesta de actuación en El Recreo. Fuente: TYM Asociados.

6.4. TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO TECNOLÓGICO

El establecimiento de una línea de Metro requiere unos conocimientos técnicos específicos con un componente tecnológico muy importante, que hace necesaria la participación de especialistas altamente cualificados. En la actualidad Ecuador carece de tales competencias.

La realización del proyecto supone una transferencia efectiva de conocimientos y una capacitación de los equipos locales, lo que supone un gran beneficio para el país. Es previsible que futuras ampliaciones de la red de Metro en Quito, o incluso el establecimiento de futuras líneas de Metro o de ferrocarril en otros lugares de Ecuador, puedan realizarse a un menor coste con la colaboración de personal ecuatoriano principalmente.

6.5. IMPACTO EN LA POBREZA

El crecimiento espacial de las grandes ciudades generalmente incrementa la distancia media de los viajes que se realizan. El efecto es adverso para las clases más desfavorecidas, que suelen residir en la periferia de la ciudad (y por lo tanto cada vez más lejos del Centro).

Cuando esta distancia es demasiado grande como para permitir desplazamientos a pie o en modos de transporte no motorizados, los pasajeros con rentas bajas son automáticamente capturados por modos de transporte colectivo en superficie, que sufren de forma desproporcionada con el aumento de la congestión vehicular. Eventualmente el aumento de la demanda sitúa a estos modos de transporte en el límite de su capacidad, momento en que es necesario incorporar un sistema de transporte de gran capacidad.

Un sistema de Metro mejora sensiblemente el acceso entre las zonas periféricas y centrales de la ciudad. Se mejora de esta forma la calidad de vida y posibilidades de desarrollo de las clases desfavorecidas que habitan en los suburbios, como ha sucedido en las ciudades de México, Caracas y Sao Paulo.

6.6. DESARROLLO URBANO

Debido a su alta capacidad de transporte de pasajeros, rapidez y fiabilidad los sistemas de Metro permiten un desarrollo urbano con mayores densidades de población.

Permiten igualmente el desarrollo espacial de las ciudades conservando unos tiempos de desplazamiento razonables para los viajes que se realizan en las mismas.

Por otra parte la gran accesibilidad que presentan las ubicaciones cercanas a las estaciones fomenta el crecimiento urbano poli-nuclear. Además del Centro Histórico aparecen y se refuerzan otras centralidades urbanas que actúan como "Centros secundarios", generando actividad económica y desarrollo.

6.7. MEJORA DEL POTENCIAL DE CRECIMIENTO Y DESARROLLO ECONÓMICO

El uso de las infraestructuras del transporte tiene un efecto estructurante y de generación de riqueza, que trasciende los efectos valorados en el ACB.

El conjunto de efectos que se han descrito con anterioridad (efecto red, impacto en la pobreza y los cambios que se introducen en el desarrollo urbano) son los cimientos para un cambio sustancial cuantitativo y cualitativo en el crecimiento y desarrollo económico que se produciría en el DMQ si se construyese la primera línea de Metro.

6.8. CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL PLAN DEL BUEN VIVIR

El Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013 tiene como objeto fomentar y promover los proyectos eminentemente públicos encaminadas a mejorar el nivel de vida de los ecuatorianos, entendiendo como tal *"la satisfacción de las necesidades, la consecución de una calidad de vida y muerte digna, el amar y ser amado, y el florecimiento saludable de todos y todas, en paz y armonía con la naturaleza y la prolongación indefinida de las culturas humanas."*

Como se ha visto, el proyecto Metro colabora en la consecución de los objetivos 4 y 11 del Plan, en concreto con el cumplimiento de las siguientes políticas y la ayuda al cumplimiento de las siguientes metas:

- Objetivo 4. Garantizar los derechos de la naturaleza y promover un ambiente sano y sustentable
 - Política 4.4. Prevenir, controlar y mitigar la contaminación ambiental como aporte para el mejoramiento de la calidad de vida.

- Política 4.5. Fomentar la adaptación y mitigación a la variabilidad climática con énfasis en el proceso de cambio climático.
 - Política 4.7. Incorporar el enfoque ambiental en los procesos sociales, económicos y culturales dentro de la gestión pública.
 - Meta 4.4.1. Mantener las concentraciones promedio anuales de contaminantes de aire bajo los estándares permisibles.
- Objetivo 11. Establecer un sistema económico social, solidario y sostenible
 - Política 11.5. Fortalecer y ampliar la cobertura de infraestructura básica y de servicios públicos para extender las capacidades y oportunidades económicas.
 - Política 11.9. Promover el acceso a conocimientos y tecnologías y a su generación endógena como bienes públicos.
 - Política 11.11. Promover la sostenibilidad ecosistémica de la economía a través la implementación de tecnologías y prácticas de producción limpia.

7. ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS A REALIZAR EN OTRAS FASES DEL PROYECTO

La construcción de la primera línea de Metro en la ciudad de Quito tendrá unos impactos socio-económicos muy relevantes, y que se han analizado en el presente documento.

Existen además otros efectos cuantificables que escapan al alcance del análisis socio-económico pero que podría resultar de gran interés evaluar, en particular:

- Los efectos sobre la dotación de capital público: En este tipo de análisis se consideran las modificaciones que experimenta el stock de capital en el total nacional y las implicaciones sobre la distribución territorial del mismo.
- Los efectos macroeconómicos: Dichos efectos se miden como los USD generados por la economía ecuatoriana por cada USD de inversión en la infraestructura del Metro, así como el número de empleos (directos e indirectos) generados y el retorno fiscal esperado. Se pueden desagregar en tres tipos diferentes:
 - Efectos durante la construcción: La inversión tiene una incidencia sobre la demanda.
 - Efectos en el largo plazo: Se trata de la incidencia sobre la oferta generada por el proyecto.
 - Efectos sobre la estabilidad del ciclo económico: En particular se mide el impacto del proyecto en el potencial de crecimiento de la economía del país, la tasa de inflación y la estabilidad presupuestaria.

Metodológicamente, estos análisis cuantitativos se fundamentan en las siguientes herramientas:

- Método del Inventario Permanente (MIP) para la evaluación del stock de capital público.
- Modelos Input-Output para los efectos durante la construcción.
- Modelos macro-económicos para la evaluación de los efectos sobre la productividad en el largo plazo⁷⁹.

⁷⁹En España se dispone del modelo HERMIN-España

- Modelos de Vectores AutoRegresivos (VAB) para la evaluación de los efectos sobre la productividad en el largo plazo.
- Modelos econométricos que simulen la evolución del ciclo económico.

Este tipo de análisis tendría un carácter complementario a los estudios realizados hasta el momento. La información que aportarían estos trabajos no resultaría determinante para la toma de decisiones sobre la conveniencia o no de acometer el proyecto.

8. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y LIMITACIONES

La construcción de la primera línea del Metro de Quito constituye el elemento vertebrador del Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) que se planea implementar en la ciudad.

Independientemente de la viabilidad técnica y económico-financiera, es vital conocer su viabilidad socio-económica, que justifica el empleo de recursos públicos en el proyecto.

El análisis coste-beneficio realizado determina que las dos Alternativas estudiadas presentan una elevada rentabilidad socio-económica, siendo el mayor beneficio la ganancia en productividad que se obtiene:

	Alternativa 1	Alternativa 2
VAN		
Tasa de descuento social del 12% MM de USD de 2010	1.025	1.129
TIR	19,05%	19,43%
TRSI	11,30%	13,79%
Ratio Beneficio-Costo	1,85	1,89
Periodo de retorno	17	16
Años desde 2010		

Tabla 45: Resumen de los resultados obtenidos en el ACB para las Alternativas estudiadas.

Los análisis de sensibilidad realizados a las principales variables clave demuestran la robustez de dicha rentabilidad, que sigue siendo

positiva incluso en caso de producirse grandes cambios adversos en las mismas.

Se han considerado además otros aspectos positivos derivados de la realización del proyecto que, siendo muy importantes, son de difícil valoración económica o no deben entrar, metodológicamente, en el análisis coste-beneficio:

- La creación de empleo
- Efecto red: vertebración Norte Sur del SITM.
- La recuperación de áreas urbanas
- La transferencia de conocimiento tecnológico
- El impacto en la pobreza
- El cambio en el desarrollo urbano de la ciudad
- La mejora del potencial de crecimiento y desarrollo económico
- El cumplimiento de los objetivos del Plan del Buen Vivir.

Como complemento al presente análisis se indica la posibilidad de realizar una evaluación de los efectos sobre la creación de capital público, así como de los efectos macroeconómicos generados por el mismo.

Finalmente, se concluye que el proyecto de la primera línea del Metro de Quito es viable desde un punto de vista socio-económico, para cualquiera de las dos Alternativas consideradas. Los resultados obtenidos son además prácticamente equivalentes en ambas.

Bibliografía

Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) (2010): "Anuario 2009", Quito.

Banco Central del Ecuador (2008): "Memoria 2007 del Banco Central del Ecuador", Quito.

Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2001): "Diálogo sobre seguridad ciudadana en el Ecuador", Seminario-Taller, Quito.

Banco Interamericano de Desarrollo (BID) -Cuenin, Fernando y otros (2010): "Identificación y fortalecimiento de centralidades urbanas, el caso de Quito", Washington DC.

Banco Interamericano de Desarrollo (BID) - Díaz Alvarado, Carlos y otros (2004): "Fiscal sustainability in emerging market countries with an application to Ecuador", Washington DC.

Banco Interamericano de Desarrollo (BID) - Rus, Ginés de y otros (2006): "Manual de evaluación económica de proyectos de transporte", Washington DC.

Banco Mundial - Faiz, Asif y otros (1996): "Air pollution from motor vehicles. Standards and technologies for controlling emissions", Washington, D.C.

Banco Mundial - Mitric, Slobodan (1997): "Approaching Metros as potential development projects", Discussion Paper, Washington, D.C.

Bickel, Peter y otros (2005): "Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assesment (HEATCO). Deliverable 2", Comisión Europea (CE), Bruselas.

Cal y Mayor y Asociados (2008): "DMQ- Distrito Metropolitano de Quito. Estudio de Demanda de Transporte", Quito.

CEPAL (Naciones Unidas) (2002): "Evaluación del impacto socioeconómico del transporte urbano en la ciudad de Bogotá. El caso del sistema de transporte masivo, Transmilenio", Bogotá.

CEPAL (2010): "Balance provisional de las economías de América Latina y el Caribe".

CORPAIRE (2009): "La calidad del aire en Quito, informe anual 2008", Quito.

Corporación Andina de Fomento (CAF) (2010): "Observatorio Regional, agosto 2010", pág. 9.

Corporación Andina de Fomento (CAF) (2010): "Reporte económico semestral", n° 13, octubre 2010.

Demoraes, Florent (2004): "Enjeux, mobilité et risques dans le District Métropolitain de Quito (Équateur)", Actas de los Seminarios y talleres científicos del 30° aniversario del ORSTOM/IRD en Ecuador, pp. 157-163.

Demoraes, Florent (2005): "Movilidad, elementos esenciales y riesgos en el Distrito Metropolitano de Quito", Institut de Recherche pour le Développement.

Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMOP): "Plan Maestro de Movilidad", Quito.

Florio, Massimo y otros (2003): "Guía del análisis coste-beneficio de los proyectos de inversión", Comisión Europea (CE), Bruselas.

Flyvbjerg, Bent (2007): "Cost Overruns and Demand Shortfalls in Urban Rail and Other Infrastructure", Transportation Planning and technology, Febrero 2007, Vol. 30, No. 1, pp. 930, Londres.

Grange, Louis de (2010): "El gran impacto del Metro", EURE, vol. 36, n° 107, pp. 125-131.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador (INEC) (2001): "Estadísticas demográficas del Cantón Quito", Quito.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador (INEC) (2003): "Ecuador: Estimaciones y proyecciones de población 1950-2025", Quito.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador (INEC) (2006): "Análisis y proyección de la Población Económicamente Activa (PEA) del Ecuador", Quito.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador (INEC) (2008): "Reseña histórica de la inflación en el Ecuador. Período 1950-2007", Quito.

Maibach, M. y otros (2004): "Costes externos del transporte. Estudio de actualización", INFRAS

Metzger, Pascale (2001): "Perfiles ambientales de Quito", Institut de Recherche pour le Développement.

Ministerio de Finanzas del Ecuador (2010): Previsiones Macroeconómicas del Ecuador 2011-2014, Quito.

Mosquera, Roberto (2010): "Racionalización del uso del automóvil en Quito: Un análisis de incentivos económicos", Centro de Investigaciones Económicas, Universidad de las Américas, Ecuador.

Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Secretaría de Ambiente (2009): "Estrategia Quiteña al cambio climático", Quito.

Páez, Carlos y otros (2006): "Minimización de las emisiones atmosféricas provenientes del tráfico vehicular en Quito: pasado, presente y futuro", CORPAIRE, Quito.

Rus, Ginés de y otros (2010): "Evaluación económica de proyectos de transporte", Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), Ministerio de Fomento, Madrid.

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo del Ecuador (SENPLADES) (2010): Entrevistas con el equipo consultor de Metro de Madrid, Quito.

Turró, Mateo y otros (2005): "RAILPAG: Railway Project Appraisal Guidelines", Banco Europeo de Inversiones (BEI), Comisión Europea (CE), Bruselas.

Fase: F.3. Estudio de Factibilidad de la primera línea del Metro de Quito

Actividad: A.3.5. Estudio de Viabilidad Socio Económica

UNMQ (2010): "Estudio de prefactibilidad. Proyecto Sistema de Transporte Masivo por Ferrocarril Urbano en la Ciudad de Quito", Quito.

Anexos

1. Hipótesis utilizadas para el cálculo de los costes de operación de los vehículos

Tipo de calzada:

Tipo de Calzada	Código: 1-Asfaltada 0-Sin Asfaltar 1	
Rugosidad media	m/km	6.00
Gradiente positivo medio	%	2.00
Gradiente negativo medio	%	2.00
Proporción del viaje en subida	%	10.00
Curvatura horizontal media	deg/km	100.00
Sobre-elevación media	fracción	0.01
Altitud	m	2885.00
Número efecto de carriles	Código: 1-Uno 0-Más de uno 1	

Autobús: Costes unitarios sin impuestos (USD de 2010)

Precio de vehículo nuevo	\$	104.600
Coste del carburante	\$/litro	0.51
Coste del lubricante	\$/litro	5.67
Coste de neumático nuevo	\$/neumático	165.00
Coste de la tripulación	\$/hora	3.88
Coste Mano de obra (mant.)	\$/hora	3.75

Auto de tamaño medio: Costes unitarios sin impuestos (USD de 2010)

Precio de vehículo nuevo	\$	11.000
Coste del carburante	\$/litro	0.59
Coste del lubricante	\$/litro	5.67
Coste de neumático nuevo	\$/neumático	41.00
Coste Mano de obra (mant.)	\$/hora	3.75

2. Extracto de las hojas de cálculo del modelo socio-económico

2.1.1. Alternativa 1

Análisis Coste-Beneficio – Alternativa 1 (1/4)

	Suma flujos	VAN (tasa social)	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Beneficios	25.110.868.019	2.235.665.513	-	-	-	-	-	-	240.244.510	258.153.891	293.345.610	313.779.370
Productividad	21.680.746.086	1.851.938.962	-	-	-	-	-	-	179.969.132	196.478.849	226.206.866	245.124.800
Usuarios de Metro	12.590.612.213	1.093.796.784	-	-	-	-	-	-	111.192.929	119.642.714	138.344.440	148.565.518
Generación de nuevos viajes	286.687.675	23.560.738	-	-	-	-	-	-	1.030.883	2.347.760	2.800.321	3.089.627
Mayor fiabilidad del sistema	1.046.476.501	106.562.271	-	-	-	-	-	-	14.806.098	15.438.780	17.575.542	18.294.943
Disminución de congestión en superficie	9.326.684.449	787.862.575	-	-	-	-	-	-	75.148.370	82.207.765	93.849.877	102.617.126
Acceso y dispersión	1.569.714.752	159.843.406	-	-	-	-	-	-	22.209.147	23.158.170	26.363.313	27.442.415
Ahorro energético	749.167.575	78.401.000	-	-	-	-	-	-	11.397.319	11.745.128	12.881.542	13.265.948
Reducción en costes de operación vehicular	2.069.857.110	238.255.769	-	-	-	-	-	-	38.670.432	39.437.340	42.781.651	43.600.747
Reducción de la contaminación atmosférica	287.954.686	33.721.253	-	-	-	-	-	-	5.584.272	5.678.830	6.189.086	6.289.185
Cambio climático	53.859.516	5.683.422	-	-	-	-	-	-	834.311	858.800	943.318	970.353
Accidentabilidad	239.714.060	24.224.153	-	-	-	-	-	-	3.222.170	3.377.701	3.719.772	3.893.997
Disminución del ruido	29.568.987	3.440.954	-	-	-	-	-	-	566.873	577.243	623.375	634.339
Costes	- 3.523.089.147	- 1.211.010.568	-	- 27.000.000	- 294.803.435	- 378.092.018	- 423.180.611	- 332.353.576	- 31.247.485	- 104.628.263	- 165.719.535	- 239.042.831
Inversión	- 1.755.512.697	- 966.861.282	-	- 27.000.000	- 294.803.435	- 342.797.452	- 386.482.975	- 332.353.576	-	- 73.587.852	- 107.163.860	- 191.323.547
Reinversión	- 444.630.050	- 35.529.918	-	-	-	-	-	-	-	-	- 10.710.000	-
Costos de operación y mantenimiento	- 1.219.133.812	- 154.518.639	-	-	-	-	-	-	31.247.485	31.040.411	32.268.344	31.476.228
Afecciones de obra	- 103.812.589	- 54.100.730	-	-	- 35.294.566	- 36.697.636	-	-	-	-	15.577.331	16.243.056
Valor residual	-	10.032.455	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Balance (Beneficios-Costes)	21.587.778.872	1.024.654.945	-	- 27.000.000	- 294.803.435	- 378.092.018	- 423.180.611	- 332.353.576	208.997.025	153.525.628	127.626.075	74.736.540

ENTREGABLE: E-3.5 Estudio de Viabilidad Socio Económica



Metro de Madrid, S.A.

Fase: F.3. Estudio de Factibilidad de la primera línea del Metro de Quito

Actividad: A.3.5. Estudio de Viabilidad Socio Económica

Análisis Coste-Beneficio – Alternativa 1 (2/4)

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Beneficios	454.670.343	483.605.416	514.377.072	547.071.429	581.893.877	618.920.718	658.356.316	700.323.164	744.945.527	792.509.850
Productividad	358.333.672	385.054.880	413.571.254	443.967.972	476.447.828	511.086.443	548.085.784	587.567.127	629.653.494	674.628.164
Usuarios de Metro	217.661.143	232.737.282	248.726.393	265.663.548	283.653.076	302.721.844	322.970.630	344.450.894	367.214.152	391.403.988
Generación de nuevos viajes	4.496.289	4.881.146	5.291.422	5.727.966	6.193.086	6.687.389	7.213.052	7.771.120	8.362.561	8.990.373
Mayor fiabilidad del sistema	24.205.594	25.230.077	26.281.400	27.357.953	28.464.923	29.599.067	30.764.153	31.958.620	33.180.678	34.436.419
Disminución de congestión en superficie	148.279.037	160.051.490	172.694.138	186.255.435	200.834.128	216.476.743	233.284.178	251.324.423	270.667.120	291.452.012
Acceso y dispersión	- 36.308.391	- 37.845.115	- 39.422.100	- 41.036.929	- 42.697.384	- 44.398.600	- 46.146.229	- 47.937.930	- 49.771.018	- 51.654.628
Ahorro energético	18.759.080	19.343.737	19.948.019	20.572.887	21.219.354	21.888.488	22.581.413	23.299.314	24.043.438	24.815.102
Reducción en costes de operación vehicular	60.961.228	62.153.844	63.359.552	64.578.569	65.811.117	67.057.424	68.317.719	69.592.239	70.881.224	72.184.917
Reducción de la contaminación atmosférica	8.723.380	8.872.790	9.023.123	9.174.398	9.326.636	9.479.858	9.634.084	9.789.338	9.945.642	10.103.017
Cambio climático	1.367.994	1.409.185	1.451.689	1.495.569	1.540.892	1.587.728	1.636.151	1.686.239	1.738.074	1.791.743
Accidentabilidad	5.637.519	5.867.666	6.104.136	6.346.599	6.596.328	6.852.615	7.116.403	7.387.387	7.665.210	7.951.368
Disminución del ruido	887.470	903.313	919.300	935.435	951.722	968.162	984.761	1.001.521	1.018.445	1.035.538
Costes	- 41.248.348	- 50.891.554	- 39.581.554	- 39.581.554	- 51.718.943	- 40.408.943	- 63.496.521	- 42.676.521	- 42.076.521	- 53.613.910
Inversión	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reinversión	-	- 10.710.000	-	-	- 10.710.000	-	- 21.420.000	-	-	- 10.710.000
Costos de operación y mantenimiento	- 41.248.348	- 40.181.554	- 39.581.554	- 39.581.554	- 41.008.943	- 40.408.943	- 42.076.521	- 42.676.521	- 42.076.521	- 42.903.910
Afecciones de obra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Valor residual	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Balance (Beneficios-Costes)	413.421.995	432.713.861	474.795.518	507.489.875	530.174.934	578.511.774	594.859.795	657.646.643	702.869.006	738.895.940



Análisis Coste-Beneficio – Alternativa 1 (3/4)

	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039
Beneficios	<u>843.171.860</u>	<u>887.132.517</u>	<u>933.256.107</u>	<u>981.542.899</u>	<u>1.032.185.081</u>	<u>1.079.770.889</u>	<u>1.129.388.396</u>	<u>1.180.941.525</u>	<u>1.234.673.034</u>	<u>1.290.540.712</u>
Productividad	722.645.409	764.040.365	807.545.296	853.159.671	901.072.733	945.870.689	992.638.918	1.041.280.846	1.092.035.190	1.144.858.507
Usuarios de Metro	417.086.768	440.384.733	464.814.723	490.369.484	517.150.594	543.048.915	570.070.540	598.158.011	627.446.276	657.908.058
Generación de nuevos viajes	9.655.738	10.221.424	10.815.018	11.436.338	12.087.721	12.690.774	13.319.454	13.972.350	14.652.540	15.359.306
Mayor fiabilidad del sistema	35.724.258	37.030.367	38.370.798	39.741.507	41.147.285	42.588.632	44.068.518	45.580.069	47.131.198	48.717.303
Disminución de congestión en superficie	313.765.032	331.949.392	351.100.953	371.224.603	392.408.061	411.425.316	431.283.184	451.940.520	473.501.973	495.949.795
Acceso y dispersión	- 53.586.387	- 55.545.551	- 57.556.196	- 59.612.260	- 61.720.928	- 63.882.948	- 66.102.777	- 68.370.103	- 70.696.797	- 73.075.954
Ahorro energético	25.615.690	26.413.930	27.241.216	28.098.945	28.988.584	29.911.677	30.869.846	31.864.795	32.898.317	33.972.294
Reducción en costes de operación vehicular	73.503.570	74.758.389	76.026.153	77.307.052	78.601.280	79.909.033	81.230.511	82.565.918	83.915.461	85.279.350
Reducción de la contaminación atmosférica	10.261.488	10.411.861	10.563.124	10.715.294	10.868.390	11.022.429	11.177.429	11.333.409	11.490.387	11.648.382
Cambio climático	1.847.338	1.902.738	1.960.071	2.019.429	2.080.908	2.144.611	2.210.643	2.279.118	2.350.153	2.423.872
Accidentabilidad	8.245.562	8.536.222	8.834.886	9.140.654	9.454.695	9.777.174	10.108.836	10.448.137	10.796.978	11.154.352
Disminución del ruido	1.052.803	1.069.012	1.085.362	1.101.854	1.118.491	1.135.276	1.152.212	1.169.302	1.186.549	1.203.955
Costes	<u>- 43.503.910</u>	<u>- 110.884.224</u>	<u>- 43.731.299</u>	<u>- 228.969.283</u>	<u>- 55.268.688</u>	<u>- 58.148.717</u>	<u>- 55.946.077</u>	<u>- 95.965.190</u>	<u>- 45.236.077</u>	<u>- 56.773.466</u>
Inversión	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reinversión	-	- 67.152.925	-	- 184.637.984	- 10.710.000	- 13.590.029	- 10.710.000	- 50.729.113	-	- 10.710.000
Costos de operación y mantenimiento	- 43.503.910	- 43.731.299	- 43.731.299	- 44.331.299	- 44.558.688	- 44.558.688	- 45.236.077	- 45.236.077	- 45.236.077	- 46.063.466
Afecciones de obra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Valor residual	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>
Balance (Beneficios-Costes)	<u>799.667.950</u>	<u>776.248.293</u>	<u>889.524.808</u>	<u>752.573.616</u>	<u>976.916.393</u>	<u>1.021.622.172</u>	<u>1.073.442.319</u>	<u>1.084.976.335</u>	<u>1.189.436.957</u>	<u>1.233.767.246</u>

ENTREGABLE: E-3.5 Estudio de Viabilidad Socio Económica



Metro de Madrid, S.A.

Fase: F.3. *Estudio de Factibilidad de la primera línea del Metro de Quito*

Actividad: A.3.5. *Estudio de Viabilidad Socio Económica*

Análisis Coste-Beneficio – Alternativa 1 (4/4)

	2040	2041	2042	2043	2044	2045
Beneficios	<u>1.345.291.179</u>	<u>1.402.085.724</u>	<u>1.461.061.517</u>	<u>1.522.147.361</u>	<u>1.585.482.125</u>	<u>1.651.058.878</u>
Productividad	1.196.493.653	1.250.099.862	1.305.810.851	1.363.553.839	1.423.463.990	1.485.531.908
Usuarios de Metro	688.289.956	719.835.889	752.622.644	786.607.930	821.869.142	858.400.170
Generación de nuevos viajes	16.045.405	16.756.136	17.493.130	18.255.242	19.044.103	19.859.401
Mayor fiabilidad del sistema	50.344.197	52.009.836	53.717.682	55.462.600	57.248.005	59.071.365
Disminución de congestión en superficie	517.330.391	539.512.754	562.553.918	586.421.967	611.174.747	636.808.020
Acceso y dispersión	- 75.516.296	- 78.014.754	- 80.576.523	- 83.193.901	- 85.872.008	- 88.607.048
Ahorro energético	35.088.708	36.249.638	37.457.274	38.713.914	40.021.978	41.384.005
Reducción en costes de operación vehicular	86.657.799	88.051.026	89.459.252	90.882.704	92.321.608	93.776.200
Reducción de la contaminación atmosférica	11.807.415	11.967.505	12.128.672	12.290.938	12.454.322	12.618.848
Cambio climático	2.500.405	2.579.890	2.662.470	2.748.296	2.837.529	2.930.335
Accidentabilidad	11.521.676	11.898.544	12.285.835	12.682.431	13.089.207	13.505.660
Disminución del ruido	1.221.524	1.239.259	1.257.163	1.275.239	1.293.491	1.311.923
Costes	<u>- 46.063.466</u>	<u>- 57.600.855</u>	<u>- 46.890.855</u>	<u>- 46.890.855</u>	<u>- 69.854.061</u>	<u>- 48.434.061</u>
Inversión	-	-	-	-	-	-
Reinversión	-	- 10.710.000	-	-	- 21.420.000	-
Costos de operación y mantenimiento	- 46.063.466	- 46.890.855	- 46.890.855	- 46.890.855	- 48.434.061	- 48.434.061
Afecciones de obra	-	-	-	-	-	-
Valor residual	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>593.274.998</u>
Balance (Beneficios-Costes)	<u>1.299.227.713</u>	<u>1.344.484.869</u>	<u>1.414.170.662</u>	<u>1.475.256.506</u>	<u>1.515.628.064</u>	<u>2.195.899.814</u>

2.1.2. Alternativa 2

Análisis Coste-Beneficio – Alternativa 2 (1/4)

			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	Suma flujos	VAN (tasa social)										
Beneficios	25.541.938.561	2.401.314.597	-	-	-	-	-	-	345.016.061	370.598.855	396.507.627	424.471.329
Productividad	22.005.689.423	1.976.551.858	-	-	-	-	-	-	257.172.090	280.703.722	304.514.857	330.332.283
Usuarios de Metro	12.801.654.971	1.174.960.667	-	-	-	-	-	-	162.862.985	175.148.457	188.316.407	202.460.434
Generación de nuevos viajes	289.980.839	24.792.198	-	-	-	-	-	-	1.462.888	3.329.789	3.690.328	4.078.774
Mayor fiabilidad del sistema	1.068.027.541	114.932.699	-	-	-	-	-	-	20.588.382	21.459.660	22.351.545	23.266.798
Disminución de congestión en superficie	9.448.067.384	834.265.343	-	-	-	-	-	-	103.140.408	112.955.306	123.683.895	135.426.474
Acceso y dispersión	1.602.041.312	172.399.049	-	-	-	-	-	-	30.882.574	32.189.490	33.527.318	34.900.197
Ahorro energético	769.458.875	86.239.440	-	-	-	-	-	-	16.616.904	17.123.099	17.648.162	18.193.071
Reducción en costes de operación vehicular	2.137.598.646	264.461.318	-	-	-	-	-	-	56.349.301	57.477.492	58.621.975	59.782.927
Reducción de la contaminación atmosférica	297.697.810	37.496.151	-	-	-	-	-	-	8.162.503	8.300.694	8.440.218	8.581.080
Cambio climático	55.342.299	6.256.537	-	-	-	-	-	-	1.217.687	1.253.306	1.290.184	1.328.386
Accidentabilidad	245.591.589	26.485.094	-	-	-	-	-	-	4.672.523	4.900.205	5.136.399	5.382.042
Disminución del ruido	30.559.919	3.824.200	-	-	-	-	-	-	825.051	840.338	855.833	871.539
Costes	- 3.459.599.359	- 1.272.417.338	-	- 27.000.000	- 356.397.471	- 469.432.406	- 521.811.031	- 403.606.025	- 35.534.668	- 35.327.594	- 47.266.062	- 35.763.946
Inversión	- 1.680.542.697	- 1.015.401.063	-	- 27.000.000	- 356.397.471	- 421.532.103	- 472.007.097	- 403.606.025	-	-	-	-
Reinversión	- 444.630.050	- 37.157.422	-	-	-	-	-	-	-	-	10.710.000	-
Costos de operación y mantenimiento	- 1.236.722.374	- 161.157.254	-	-	-	-	-	-	35.534.668	35.327.594	36.556.062	35.763.946
Afecciones de obra	- 97.704.237	- 58.701.598	-	-	-	- 47.900.303	- 49.803.934	-	-	-	-	-
Valor residual	-	8.013.468	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Balance (Beneficios-Costes)	22.082.339.202	1.128.897.259	-	- 27.000.000	- 356.397.471	- 469.432.406	- 521.811.031	- 403.606.025	309.481.392	335.271.261	349.241.565	388.707.383

ENTREGABLE: E-3.5 Estudio de Viabilidad Socio Económica



Metro de Madrid, S.A.

Fase: F.3. Estudio de Factibilidad de la primera línea del Metro de Quito

Actividad: A.3.5. Estudio de Viabilidad Socio Económica

Análisis Coste-Beneficio – Alternativa 2 (2/4)

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Beneficios	454.670.394	483.605.416	514.377.072	547.071.429	581.893.877	618.920.718	658.356.316	700.323.164	744.945.527	792.509.850
Productividad	358.333.705	385.054.880	413.571.254	443.967.972	476.447.828	511.086.443	548.085.784	587.567.127	629.653.494	674.628.164
Usuarios de Metro	217.661.220	232.737.282	248.726.393	265.663.548	283.653.076	302.721.844	322.970.630	344.450.894	367.214.152	391.403.988
Generación de nuevos viajes	4.496.265	4.881.146	5.291.422	5.727.966	6.193.086	6.687.389	7.213.052	7.771.120	8.362.561	8.990.373
Mayor fiabilidad del sistema	24.205.611	25.230.077	26.281.400	27.357.953	28.464.923	29.599.067	30.764.153	31.958.620	33.180.678	34.436.419
Disminución de congestión en superficie	148.279.027	160.051.490	172.694.138	186.255.435	200.834.128	216.476.743	233.284.178	251.324.423	270.667.120	291.452.012
Acceso y dispersión	- 36.308.417	- 37.845.115	- 39.422.100	- 41.036.929	- 42.697.384	- 44.398.600	- 46.146.229	- 47.937.930	- 49.771.018	- 51.654.628
Ahorro energético	18.759.084	19.343.737	19.948.019	20.572.887	21.219.354	21.888.488	22.581.413	23.299.314	24.043.438	24.815.102
Reducción en costes de operación vehicular	60.961.239	62.153.844	63.359.552	64.578.569	65.811.117	67.057.424	68.317.719	69.592.239	70.881.224	72.184.917
Reducción de la contaminación atmosférica	8.723.383	8.872.790	9.023.123	9.174.398	9.326.636	9.479.858	9.634.084	9.789.338	9.945.642	10.103.017
Cambio climático	1.367.994	1.409.185	1.451.689	1.495.569	1.540.892	1.587.728	1.636.151	1.686.239	1.738.074	1.791.743
Accidentabilidad	5.637.519	5.867.666	6.104.136	6.346.599	6.596.328	6.852.615	7.116.403	7.387.387	7.665.210	7.951.368
Disminución del ruido	887.470	903.313	919.300	935.435	951.722	968.162	984.761	1.001.521	1.018.445	1.035.538
Costes	- 41.262.795	- 50.906.537	- 39.596.537	- 39.596.537	- 51.734.461	- 40.424.461	- 63.513.108	- 42.693.108	- 42.093.108	- 53.631.032
Inversión	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reinversión	-	- 10.710.000	-	-	- 10.710.000	-	- 21.420.000	-	-	- 10.710.000
Costos de operación y mantenimiento	- 41.262.795	- 40.196.537	- 39.596.537	- 39.596.537	- 41.024.461	- 40.424.461	- 42.093.108	- 42.693.108	- 42.093.108	- 42.921.032
Afecciones de obra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Valor residual	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Balance (Beneficios-Costes)	413.407.599	432.698.879	474.780.536	507.474.892	530.159.416	578.496.257	594.843.208	657.630.056	702.852.418	738.878.817

ENTREGABLE: E-3.5 Estudio de Viabilidad Socio Económica



Metro de Madrid, S.A.

Fase: F.3. Estudio de Factibilidad de la primera línea del Metro de Quito

Actividad: A.3.5. Estudio de Viabilidad Socio Económica

Análisis Coste-Beneficio – Alternativa 2 (3/4)

	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039
Beneficios	843.171.860	887.132.517	933.256.107	981.542.899	1.032.185.081	1.079.770.889	1.129.388.396	1.180.941.525	1.234.673.034	1.290.540.712
Productividad	722.645.409	764.040.365	807.545.296	853.159.671	901.072.733	945.870.689	992.638.918	1.041.280.846	1.092.035.190	1.144.858.507
Usuarios de Metro	417.086.768	440.384.733	464.814.723	490.369.484	517.150.594	543.048.915	570.070.540	598.158.011	627.446.276	657.908.058
Generación de nuevos viajes	9.655.738	10.221.424	10.815.018	11.436.338	12.087.721	12.690.774	13.319.454	13.972.350	14.652.540	15.359.306
Mayor fiabilidad del sistema	35.724.258	37.030.367	38.370.798	39.741.507	41.147.285	42.588.632	44.068.518	45.580.069	47.131.198	48.717.303
Disminución de congestión en superficie	313.765.032	331.949.392	351.100.953	371.224.603	392.408.061	411.425.316	431.283.184	451.940.520	473.501.973	495.949.795
Acceso y dispersión	- 53.586.387	- 55.545.551	- 57.556.196	- 59.612.260	- 61.720.928	- 63.882.948	- 66.102.777	- 68.370.103	- 70.696.797	- 73.075.954
Ahorro energético	25.615.690	26.413.930	27.241.216	28.098.945	28.988.584	29.911.677	30.869.846	31.864.795	32.898.317	33.972.294
Reducción en costes de operación vehicular	73.503.570	74.758.389	76.026.153	77.307.052	78.601.280	79.909.033	81.230.511	82.565.918	83.915.461	85.279.350
Reducción de la contaminación atmosférica	10.261.488	10.411.861	10.563.124	10.715.294	10.868.390	11.022.429	11.177.429	11.333.409	11.490.387	11.648.382
Cambio climático	1.847.338	1.902.738	1.960.071	2.019.429	2.080.908	2.144.611	2.210.643	2.279.118	2.350.153	2.423.872
Accidentabilidad	8.245.562	8.536.222	8.834.886	9.140.654	9.454.695	9.777.174	10.108.836	10.448.137	10.796.978	11.154.352
Disminución del ruido	1.052.803	1.069.012	1.085.362	1.101.854	1.118.491	1.135.276	1.152.212	1.169.302	1.186.549	1.203.955
Costes	- 43.521.032	- 124.491.911	- 43.748.956	- 279.716.053	- 55.286.881	- 44.576.881	- 55.964.805	- 45.254.805	- 45.254.805	- 56.792.729
Inversión	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reinversión	-	- 80.742.954	-	- 235.367.096	- 10.710.000	-	- 10.710.000	-	-	- 10.710.000
Costos de operación y mantenimiento	- 43.521.032	- 43.748.956	- 43.748.956	- 44.348.956	- 44.576.881	- 44.576.881	- 45.254.805	- 45.254.805	- 45.254.805	- 46.082.729
Afecciones de obra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Valor residual	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Balance (Beneficios-Costes)	799.650.828	762.640.606	889.507.150	701.826.846	976.898.201	1.035.194.009	1.073.423.592	1.135.686.720	1.189.418.229	1.233.747.983



Análisis Coste-Beneficio – Alternativa 2 (4/4)

	2040	2041	2042	2043	2044	2045
Beneficios	<u>1.345.291.179</u>	<u>1.402.085.724</u>	<u>1.461.061.517</u>	<u>1.522.147.361</u>	<u>1.585.482.125</u>	<u>1.651.058.878</u>
Productividad	1.196.493.653	1.250.099.862	1.305.810.851	1.363.553.839	1.423.463.990	1.485.531.908
Usuarios de Metro	688.289.956	719.835.889	752.622.644	786.607.930	821.869.142	858.400.170
Generación de nuevos viajes	16.045.405	16.756.136	17.493.130	18.255.242	19.044.103	19.859.401
Mayor fiabilidad del sistema	50.344.197	52.009.836	53.717.682	55.462.600	57.248.005	59.071.365
Disminución de congestión en superficie	517.330.391	539.512.754	562.553.918	586.421.967	611.174.747	636.808.020
Acceso y dispersión	- 75.516.296	- 78.014.754	- 80.576.523	- 83.193.901	- 85.872.008	- 88.607.048
Ahorro energético	35.088.708	36.249.638	37.457.274	38.713.914	40.021.978	41.384.005
Reducción en costes de operación vehicular	86.657.799	88.051.026	89.459.252	90.882.704	92.321.608	93.776.200
Reducción de la contaminación atmosférica	11.807.415	11.967.505	12.128.672	12.290.938	12.454.322	12.618.848
Cambio climático	2.500.405	2.579.890	2.662.470	2.748.296	2.837.529	2.930.335
Accidentabilidad	11.521.676	11.898.544	12.285.835	12.682.431	13.089.207	13.505.660
Disminución del ruido	1.221.524	1.239.259	1.257.163	1.275.239	1.293.491	1.311.923
Costes	<u>- 46.082.729</u>	<u>- 57.620.653</u>	<u>- 46.910.653</u>	<u>- 46.910.653</u>	<u>- 69.874.929</u>	<u>- 48.454.929</u>
Inversión	-	-	-	-	-	-
Reinversión	-	- 10.710.000	-	-	- 21.420.000	-
Costos de operación y mantenimiento	- 46.082.729	- 46.910.653	- 46.910.653	- 46.910.653	- 48.454.929	- 48.454.929
Afecciones de obra	-	-	-	-	-	-
Valor residual	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>473.881.016</u>
Balance (Beneficios-Costes)	<u>1.299.208.451</u>	<u>1.344.465.071</u>	<u>1.414.150.864</u>	<u>1.475.236.709</u>	<u>1.515.607.196</u>	<u>2.076.484.965</u>