



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA DE UN PLAN DE DESARROLLO ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE Y DE BAJAS EMISIONES PARA EL SECTOR DE TRANSPORTE DE PASAJEROS EN LA CIUDAD DE QUITO

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGÍSTER EN EFICIENCIA ENERGÉTICA

AUTOR: ING. FABIO HUMBERTO GARCÍA LUCERO
fabio.garcia01@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. ÁNGEL ADALBERTO PORTILLA AGUILAR MGs.
angel.portilla@epn.edu.ec

Quito, noviembre, 2018

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **FABIO HUMBERTO GARCÍA LUCERO**, bajo mi supervisión.

Ing. Ángel Portilla A. MGs.

DIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Yo, **Fabio Humberto García Lucero**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Ing. Fabio Humberto García Lucero

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

A mi madre, por su gran ejemplo y valioso apoyo en todo momento; a mi esposa, Catalina por el optimismo y confianza y a mi familia por su permanente apoyo.

AGRADECIMIENTO

A la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) por el respaldo institucional y el acceso a sus sistemas de información y prospectiva, las cuales fueron utilizadas para el desarrollo de la presente tesis.

A la Agencia Metropolitana de Transporte, a la Secretaría de Movilidad del Distrito Metropolitana de Quito (DMQ), al Instituto Nacional de Energías Renovables y Eficiencia Energética (INER) y a la Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros de Quito (EPMT) por la apertura y disposición para la entrega de la información, la cual se constituyó en base fundamental del resultado de este trabajo.

También expreso mi reconocimiento a la Escuela Politécnica Nacional y a sus docentes por la formación profesional recibida, tanto a nivel de pre-grado y posgrado y que hoy se expresa en el presente trabajo de investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
Pregunta de investigación	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
Alcance	3
1. MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. Fundamentos de la prospectiva energética	4
1.1.1. Conceptos generales	4
1.1.2. Los escenarios energéticos.....	4
1.2. Prospectiva del sector transporte de pasajeros	6
1.2.1. Conceptos generales	6
1.2.2. Determinación de la demanda de transporte de pasajeros en el año base.....	8
1.2.3. Proyección de la demanda de transporte de pasajeros.....	11
1.3. NDCs del Ecuador	12
2. ASPECTOS METODOLÓGICOS	13
2.1. Metodología general	13
2.2. Determinación de los consumos específicos de energía.....	15
2.3. Factores de emisión de GEIs del transporte de pasajeros	17
2.4. Costos unitarios del suministro de energía.....	19
2.5. Diagnóstico del transporte de pasajeros en el DMQ, para el año base	23
2.5.1. Caracterización del parque vehicular de transporte de pasajeros	23
2.5.2. Caracterización de la demanda de transporte de pasajeros.....	30
2.5.3. Consumo específico de energía por modalidad de transporte en el año base ...	37
2.5.4. Consumo total de energía en el año base	43
2.6. Proyección de la demanda del servicio de transporte de pasajeros	46
2.7. Construcción del escenario tendencial de línea base (BAU).....	48
2.7.1. Consideraciones generales	48
2.7.2. Proyección de la cobertura de transporte por modalidad en el escenario BAU ..	48
2.7.3. Proyección del consumo de energía para el escenario BAU	49

2.7.4.	Proyección de las emisiones de GEIs del escenario BAU	51
2.7.5.	Proyección del costo de abastecimiento del escenario BAU	52
2.8.	Alternativas eficientes de transporte de pasajeros para el DMQ	53
2.8.1.	Modalidades eficientes de transporte público de pasajeros.....	53
2.8.2.	Modalidades eficientes del transporte particular de pasajeros.....	66
2.8.3.	Consumos específicos de energía, todas las modalidades de transporte.....	71
2.9.	Construcción del escenario eficiente conservador (EEC).....	72
2.9.1.	Consideraciones generales	72
2.9.2.	Premisas sobre el transporte público de pasajeros	73
2.9.3.	Premisas sobre el transporte particular de pasajeros.....	77
2.9.4.	Proyección integrada de la cobertura del transporte de pasajeros en el DMQ ..	83
2.9.5.	Proyección del consumo de energía para el escenario EEC	84
2.9.6.	Proyección de las emisiones de GEIs del escenario EEC	86
2.9.7.	Proyección del costo de abastecimiento de energía del escenario EEC.....	87
2.10.	Construcción del escenario eficiente optimista (EEO).....	88
2.10.1.	Consideraciones generales	88
2.10.2.	Premisas sobre el transporte público de pasajeros	89
2.10.3.	Premisas sobre el transporte particular de pasajeros.....	92
2.10.4.	Proyección integrada de la cobertura de transporte, escenario EEO	98
2.10.5.	Proyección del consumo de energía para el escenario EEO	98
2.10.6.	Proyección de las emisiones de GEIs del escenario EEO	100
2.10.7.	Proyección del costo de abastecimiento de energía del escenario EEO.....	101
2.11.	Efecto de la penetración de biogasolina en el escenario EEO (EEO+Bio).....	102
2.11.1.	Premisas generales del escenario EEO+Bio	102
2.11.2.	Proyección del consumo de energía por fuente escenario EEO-Bio	104
2.11.3.	Proyección de las emisiones de GEIs del escenario EEO+Bio	106
2.11.4.	Proyección del costo de abastecimiento de energía, escenario EEO+Bio ..	107
3.	ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	109
3.1.	Análisis comparativo de resultados	109
3.1.1.	Cobertura del transporte de pasajeros.....	109

3.1.2.	Consumo de energía.....	110
3.1.3.	Emisiones de GEIs.....	113
3.1.4.	Costos totales del suministro de energía	116
3.2.	Discusión.....	117
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	120
4.1.	Conclusiones.....	120
4.2.	Recomendaciones.....	122
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	124
	ANEXOS.....	126
	ANEXO I. Pasajeros transportados y kilómetros recorridos por el SMT en el año base (2015).....	126
	ANEXO II. Kilometraje y recorridos diarios de las cooperativas de transporte intracantonal ...	128
	ANEXO III. Planillas de demanda eléctrica del proyecto Quito Cables	130

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Factores de emisión de GEIs por defecto de los vehículos de transporte terrestre .	18
Tabla 2.2. Factores de emisión de GEIs por defecto de los vehículos de transporte terrestre .	18
Tabla 2.3. Factores de emisión de GEIs en kt de CO ₂ eq. / TJ.....	18
Tabla 2.4 Precios internacionales de los combustibles.	20
Tabla 2.5 Costo unitario de las fuentes de energía para el transporte de pasajeros en el DMQ (USD/TJ).....	22
Tabla 2.6. Cobertura de servicio de las líneas troncales del SMT	31
Tabla 2.7. Cobertura de servicio de los alimentadores del SMT	31
Tabla 2.8. Kilometraje y recorridos diarios del transporte intracantonal integral.....	32
Tabla 2.9. Cobertura del Sistema de transporte intracantonal de pasajeros	33
Tabla 2.10. Cobertura del transporte escolar e institucional	33
Tabla 2.11. Cobertura de servicio de las cooperativas de taxis	34
Tabla 2.12. Cobertura de servicio de los automóviles particulares	35
Tabla 2.13. Cobertura de servicio de las motocicletas	35
Tabla 2.14. Demanda total de transporte de pasajeros en Quito	35
Tabla 2.15. Consumo específico para el trolebús con electricidad	37
Tabla 2.16. Consumo específico para las troncales BRT con diésel	38
Tabla 2.17. Consumo específico para los buses alimentadores del SMT	38
Tabla 2.18. Consumo específico para los buses intracantonales convencionales	39
Tabla 2.19. Consumo específico de diésel para el transporte escolar e institucional	39
Tabla 2.20. Consumo específico de gasolina de los taxis	39
Tabla 2.21. Consumos específicos de gasolina de los automóviles particulares	41
Tabla 2.22. <i>Consumos específicos en unidades de energía (TJ/MPKM)</i>	42
Tabla 2.23. Consumo total de energía en el año base	44
Tabla 2.24. Proyección de la demanda de transporte de pasajeros en el DMQ (MPKM).	47
Tabla 2.25. Proyección de la demanda de transporte, escenario BAU (MPKM)	49
Tabla 2.26. Proyección del consumo de energía, escenario BAU (TJ)	50
Tabla 2.27. Proyección del consumo de energía por fuente, escenario BAU (TJ).....	51
Tabla 2.28. Proyección de las emisiones de GEIs por fuente, escenario BAU (kt CO ₂ eq.).....	52
Tabla 2.29. Proyección del costo de abastecimiento de energía, escenario BAU (MUSD).	52
Tabla 2.30. Características de los buses biarticulados de Quito.....	54
Tabla 2.31. Cobertura del servicio de transporte de la flota de biarticulados	55
Tabla 2.32. Consumo específico de energía de la flota de biarticulados	55
Tabla 2.33. Cobertura del Metro de Quito (MPKM) en el año 2020	57
Tabla 2.34. Consumo específico de energía del Metro de Quito	57
Tabla 2.35. Características de la primera línea del Sistema Quito Cables.....	58
Tabla 2.36. Cobertura de servicio de la primera línea del sistema Quito Cables	58

Tabla 2.37. Consumo específico de energía del Sistema Quito Cables.....	59
Tabla 2.38. Ampliaciones previstas del Sistema Quito Cables	60
Tabla 2.39. Características de los buses eléctricos BYD	61
Tabla 2.40. Consumo específico de energía de los buses eléctricos (TJ/MPKM)	61
Tabla 2.41. Límites de emisiones de GEI según normativa europea para vehículos de pasajeros a diésel.	62
Tabla 2.42. Consumos específicos de los buses bajo norma Euro 3.....	63
Tabla 2.43. Información técnica del automóvil BYD-E5.....	64
Tabla 2.44. Consumo específico de energía taxis eléctricos	65
Tabla 2.45. Especificaciones técnicas del Toyota Prius C Sort	67
Tabla 2.46. Consumo específico de energía para los automóviles híbridos.....	68
Tabla 2.47. Características técnicas del BYD-E5.....	69
Tabla 2.48. Consumo específico de los automóviles eléctricos.....	69
Tabla 2.49. Características técnicas de la Motocicleta Electric City Toscana 3000 C	70
Tabla 2.50. Consumo específico de la motocicleta eléctrica	70
Tabla 2.51. Cobertura de los buses biarticulados, escenario EE.....	74
Tabla 2.52. Cobertura del Sistema Metro de Quito, escenario EEC (MPKM).....	74
Tabla 2.53. Cobertura del Sistema Quito Cables, escenario EEC (MPKM)	75
Tabla 2.54. Cobertura del transporte público de pasajeros en el DMQ, escenario EEC (MPKM)	76
Tabla 2.55. Cobertura por tipo de servicio, escenario EEC (MPKM)	77
Tabla 2.56. Cobertura de los autos híbridos en el año 2015	78
Tabla 2.57. Proyección de la cobertura de los autos híbridos, escenario EEC.	79
Tabla 2.58. Proyección de la cobertura de los autos eléctricos, escenario EEC.	81
Tabla 2.59. <i>Proyección de la cobertura del transporte particular de pasajeros por modalidades, escenario EEC (MPKM)</i>	82
Tabla 2.60. Proyección del número de vehículos necesarios para la cobertura del servicio particular de pasajeros por modalidades, escenario EEC.....	83
Tabla 2.61. Proyección total de la cobertura de transporte de pasajeros por modalidades, escenario EEC.	83
Tabla 2.62. Proyección del consumo de energía, por modalidad, escenario EEC (TJ).	84
Tabla 2.63. Proyección del consumo de energía por fuente, escenario EEC (TJ).....	85
Tabla 2.64. Proyección de las emisiones de GEIs por fuente, escenario EEC (kt de CO ₂ eq.).	86
Tabla 2.65. Proyección del costo de abastecimiento de energía, escenario EEC (MUSD).	87
Tabla 2.66. Cobertura estimada para las extensiones de la línea central del Metro.....	89
Tabla 2.67. Proyección de la cobertura del Metro de Quito, escenario EEO (MPKM).	89
Tabla 2.68. Proyección de la cobertura del Sistema Quito Cables, escenario EEO (MPKM). ..	90
Tabla 2.69. Cobertura de los buses 100% eléctricos en el escenario EEO (MPKM).....	90
Tabla 2.70. Cobertura del transporte escolar e institucional, escenario EEO (MPKM).....	91

Tabla 2.71. Evolución de la implementación de taxis eléctricos en el DMQ.....	91
Tabla 2.72. Proyección de la cobertura del transporte público, escenario EEO (MPKM)	92
Tabla 2.73. Proyección de la cobertura del transporte por tipo de servicio, escenario EEO (MPKM).....	93
Tabla 2.74. Penetración de autos híbridos, escenario EEO	93
Tabla 2.75. Penetración de autos 100% eléctricos, escenario EEO	94
Tabla 2.76. Características técnicas del Kia Picanto 1.2.....	95
Tabla 2.77. Proyección de la cobertura de automóviles de entre 1000 y 1500 cc, escenario EEO.....	96
Tabla 2.78. Proyección de la cobertura de motocicletas eléctricas, escenario EEO.....	96
Tabla 2.79. Proyección de la cobertura del transporte particular, escenario EEO.....	97
Tabla 2.80. Proyección del número de vehículos de transporte particular, escenario EEO.....	97
Tabla 2.81. Proyección integrada de la cobertura de transporte, escenario EEO.	98
Tabla 2.82. Proyección del consumo de energía por modalidad, escenario EEO (TJ).	99
Tabla 2.83. Proyección del consumo de energía por fuente, escenario EEO (TJ).	99
Tabla 2.84. Proyección de las emisiones de GEIs por fuente, escenario EEO (kt de CO ₂ eq.).	100
Tabla 2.85. Proyección del costo de abastecimiento de energía, escenario EEO (MUSD). ...	101
Tabla 2.86 Parámetros comparativos entre la gasolina convencional y el etanol puros.	104
Tabla 2.87 Cálculo del consumo de gasolina y etanol, escenario EEO+BIO	105
Tabla 2.88 Consumo de energía para el transporte de pasajeros, escenario EEO+BIO (TJ)..	105
Tabla 2.89 Proyección de las emisiones de GEIs, escenario EEO+BIO (kt de CO ₂ eq.).....	106
Tabla 2.90 Proyección del costo de abastecimiento de energía, escenario EEO+BIO (MUSD).	107
Tabla 3.1 Comparativo de la cobertura de transporte por modalidades (MPKM).	109
Tabla 3.2 Consumo de energía por fuente, todos los escenarios (TJ).	111
Tabla 3.3 Emisiones totales de GEIs por escenario (kt de CO ₂ eq.).....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Flujograma del desarrollo del estudio.....	15
Figura 2.2. Factores de emisión de GEIs en kt de CO ₂ eq. / TJ.....	19
Figura 2.3. Precios mensuales del diésel y la gasolina en EEUU.....	21
Figura 2.4. Evolución de los costos del servicio eléctrico en el Ecuador.....	21
Figura 2.5. Evolución de los costos unitarios de las fuentes de energía.....	22
Figura 2.6. Estructura del parque vehicular de pasajeros por tipo de servicio.....	23
Figura 2.7. Mapa del Sistema Metropolitano de Transporte.....	24
Figura 2.8. Foto de la Actual Troncal Central del Trolebús.....	25
Figura 2.9. Foto de la Troncal Ecovía.....	26
Figura 2.10. Foto de la Actual Troncal Occidental.....	26
Figura 2.11. Foto de los buses alimentadores.....	27
Figura 2.12. Foto de los buses intracantoniales convencionales.....	27
Figura 2.13 Estructura del parque vehicular liviano del DMQ.....	28
Figura 2.14. Estructura del parque de automóviles de acuerdo al cilindraje.....	29
Figura 2.15. Demanda total de transporte de pasajeros de Quito.....	36
Figura 2.16. Estructura de la demanda de transporte de pasajeros, año base.....	36
Figura 2.17. Gráfico de dispersión del consumo específico vs. cilindraje, para autos particulares.....	40
Figura 2.18. Consumos específicos en unidades de energía.....	43
Figura 2.19. Consumo de energía, en el año base.....	45
Figura 2.20. Estructura del consumo de energía por modalidad de transporte.....	45
Figura 2.21. Estructura del consumo de energía por combustible.....	46
Figura 2.22. Proyección de la demanda de transporte de pasajeros en el DMQ, por tipo de servicio.....	48
Figura 2.23. Cobertura del transporte por modalidad, escenario BAU.....	49
Figura 2.24. Proyección del consumo de energía por modalidad, escenario BAU.....	50
Figura 2.25. Proyección del consumo de energía por fuente, escenario BAU.....	51
Figura 2.26. Proyección de las emisiones de GEIs, escenario BAU.....	52
<i>Figura 2.27. Proyección del costo de abastecimiento, escenario BAU.....</i>	<i>53</i>
Figura 2.28. Foto de un biarticulado del Sistema BRT de Quito.....	54
Figura 2.29. Ruta de la primera línea del Metro de Quito.....	56
Figura 2.30. Esquema de la estación de la Plaza San Francisco del Metro de Quito.....	56
Figura 2.31. Proyección 3D de la línea Ofelia-Roldós del Sistema Quito Cables.....	58
Figura 2.32. Foto de buses eléctricos marca BYD.....	60
Figura 2.33. Comparativo de consumos específicos de vehículos a diésel bajo norma europea.....	63
Figura 2.34. Flota de taxis BYD-E5 100% eléctrico en Loja, Ecuador.....	64

Figura 2.35. Comparativo de consumos específicos de las modalidades de transporte público de pasajeros	66
Figura 2.36. Foto del automóvil híbrido Toyota Prius C Sport	67
Figura 2.37. Foto del BYD E5.....	68
Figura 2.38. Consumos específicos de energía de las modalidades de transporte particular de pasajeros	71
Figura 2.39. Consumos específicos de energía de las modalidades de transporte de pasajeros	72
Figura 2.40. Cobertura del servicio público de pasajeros en el DMQ, escenario EEC	76
Figura 2.41. Cobertura de transporte de pasajeros por tipo de servicio, escenario EEC.....	78
Figura 2.42. Ventas anuales de automóviles híbridos, en la provincia de Pichincha.....	79
Figura 2.43. Ventas anuales de automóviles 100% eléctricos, en la provincia de Pichincha.....	80
Figura 2.44. Cobertura del transporte particular de pasajeros por modalidades, escenario EE.	82
Figura 2.45. Proyección de la cobertura total del transporte de pasajeros en el DMQ, escenario EEC	84
Figura 2.46. Proyección del consumo de energía por modalidad, escenario EEC	85
Figura 2.47. Proyección del consumo de energía por fuente, escenario EEC	86
Figura 2.48. Proyección de las emisiones de GEIs, escenario EEC	87
Figura 2.49. Proyección del costo de abastecimiento de energía, escenario EEC.....	88
Figura 2.50. Proyección de la cobertura del transporte público, escenario EEO	92
Figura 2.51. Proyección de la cobertura del transporte público, escenario EEO	93
Figura 2.52. Foto del Kia Picanto 1.2 LX	95
Figura 2.53. Proyección de la cobertura del transporte particular, escenario EEO.....	97
Figura 2.54. Proyección integrada de la cobertura del transporte, escenario EEO	98
Figura 2.55. Proyección del consumo de energía por modalidad, escenario EEO	99
Figura 2.56. Proyección del consumo de energía por fuente, escenario EEO	100
Figura 2.57. Proyección de las emisiones de GEIs por fuente, escenario EEO	101
Figura 2.58. Proyección del costo de abastecimiento de energía, escenario EEO.....	102
Figura 2.59. Proyección del consumo de energía por fuente, escenario EEO+BIO	106
Figura 2.60. Proyección de las emisiones de GEIs, escenario EEO+BIO.....	107
Figura 2.61. Proyección del costo de abastecimiento, escenario EEO+BIO	108
Figura 3.1. Comparativo de la cobertura del transporte de pasajeros por modalidades	109
Figura 3.2. Estructura de la cobertura del transporte de pasajeros por modalidades	110
Figura 3.3. Consumos totales de energía por escenario	110
Figura 3.4. Ahorros anuales de en el consumo de energía respecto al escenario BAU	111
Figura 3.5. Comparativo del consumo de energía por fuente	112
Figura 3.6. Comparativo de la estructura del consumo de energía por fuente	112
Figura 3.7. Consumo unitario de energía por escenario.....	113
Figura 3.8. Emisiones totales de GEIs por escenario.....	114

Figura 3.9. Porcentajes de reducción de emisiones de GEIs, respecto al escenario BAU.	115
Figura 3.10. Factores de emisión de GEIs por escenario.....	115
Figura 3.11. Costos del suministro de energía por escenario.....	116
Figura 3.12. Costos unitarios del suministro de energía por escenario.....	117

SIMBOLOS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AEADE	Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador
AMT	Agencia Metropolitana de Tránsito
bep	Barril equivalente de petróleo
BRT	Sistema de buses de tránsito rápido (<i>Bus Rapid Transit</i>)
CO ₂ eq.	Dióxido de carbono equivalente
DMQ	Distrito Metropolitano de Quito
EPMTP	Empresa Publica Metropolitana de Transporte de Pasajeros
GEIs	Gases de efecto invernadero
IEA	Agencia Internacional de Energía
kbep	Mil barriles equivalentes de petróleo
kt	Kilo toneladas métricas
MICSE	Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos
MPKM	Millones de Pasajero Kilómetro
MUSD	Millones de dólares estadounidenses
NDCs	Contribuciones nacionalmente determinadas
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OLADE	Organización Latinoamericana de Energía
OMS	Organización Mundial de la Salud
PKM	Pasajero kilómetro
SMT	Sistema Metropolitano de Transporte
TJ	TeraJoule o TeraJulio
USD	Dólares estadounidenses

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objetivo, proponer un plan de desarrollo energéticamente eficiente y de bajas emisiones para el sector del transporte de pasajeros en la ciudad de Quito, explorando modalidades alternativas de transporte energéticamente más eficientes y ambientalmente más amigables, que posibiliten el ahorro neto de energía, disminución de emisiones de GEIs y ahorros económicos para el Ecuador, permitiendo además a este sector desarrollarse de manera coherente con los compromisos adquiridos por el País en materia de mitigación del cambio climático (Acuerdo de París). Para el efecto, se realizó un estudio prospectivo para el período 2015 -2035, donde se construyeron y analizaron tres escenarios de evolución del sector: uno tendencial (*business as usual*), manteniendo la participación porcentual de las modalidades de transporte vigentes en el año base, en la cobertura del servicio proyectado; y dos alternativos donde se simularon con diferente intensidad, medidas de eficiencia energética en el sector, como la expansión de modalidades de transporte público masivo, la implementación de sistemas eléctricos de transporte público como el “Metro de Quito”, buses 100% eléctricos, taxis eléctricos y el proyecto de teleférico urbano “Quito Cables”, la masificación del uso de vehículos particulares híbridos y 100% eléctricos y la mayor penetración de automóviles convencionales de baja potencia. Se complementó el estudio con un escenario de sensibilidad respecto a la penetración de la biogasolina “Ecopaís” (mezcla de gasolina y etanol). Como resultado de la simulación se obtuvieron indicadores energéticos, ambientales y económicos de cada uno de los escenarios, con base en los cuales se estructuró la propuesta del plan de desarrollo del sector, para el período de estudio.

Palabras clave: Eficiencia en el transporte, Emisiones de GEIs, Prospectiva del transporte, Modalidades de transporte, Transporte de pasajeros.

ABSTRACT

The objective of this work, is to propose an energy efficient and low emission development plan for the passenger transport sector in the city of Quito, exploring alternative energy transport modes that are more efficient and environmentally friendlier, enabling the net savings of energy, reduction of GHG emissions and economic savings for Ecuador, also allowing this sector to develop in a manner consistent with the commitments acquired by the country in terms of mitigation of climate change (Paris Agreement). For this purpose, a prospective study was carried out for the period 2015 - 2035, where three scenarios for the evolution of the sector were built and analyzed: one trend (business as usual), maintaining the percentage share of the current transport modalities in the base year , in the coverage of the projected service; and two alternatives where energy efficiency measures in the sector were simulated with different intensity, such as the expansion of mass public transportation modalities, the implementation of public transport electric systems such as the "Metro de Quito", 100% electric buses, taxis electric and the urban cableway project "Quito Cables", the mass use of hybrid and 100% electric private vehicles and the greater penetration of conventional low-power cars. The study was complemented with a sensitivity scenario regarding the penetration of the biogasoline "Ecopaís" (mixture of gasoline and ethanol). As a result of the simulation, energy, environmental and economic indicators were obtained for each of the scenarios, based on which the proposal for the development plan for the sector was structured for the study period.

Keywords: Efficiency in the transport, Emissions of GHG, Modes of transport, Transport forecasting, Transport of passengers.

ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA DE UN PLAN DE DESARROLLO ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE Y DE BAJAS EMISIONES PARA EL SECTOR DE TRANSPORTE DE PASAJEROS EN LA CIUDAD DE QUITO.

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, el sector transporte ocupa la mayor fracción de la matriz de consumo sectorial de energía con el 52% del consumo total, depende en un 99,9% de combustibles fósiles y es responsable de cerca del 40% de las emisiones totales de CO₂ del sector energético (OLADE, 2016), además de producir la emisión de otros contaminantes como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, material particulado y azufre. Según la Organización Mundial de la Salud, la contaminación atmosférica en las ciudades y zonas rurales causó 3,7 millones de muertes prematuras en todo el mundo y está estrechamente relacionada con la incidencia de cáncer principalmente de pulmón (OMS, 2014). Por otra parte, al ser el sector transporte en el Ecuador altamente dependiente de combustibles importados y subsidiados, representa un factor de pérdida de divisas y deterioro para la economía nacional.

Con el transcurso del tiempo, los vehículos convencionales de transporte van mejorando sus propiedades energéticas y ambientales, debido a los avances tecnológicos en el diseño de los motores de combustión interna tanto de ciclo Otto como de ciclo Diésel, sin embargo algunos científicos aseguran que este tipo de motores se encuentran ya muy cerca de su límite termodinámico y por lo tanto los niveles de mejora en rendimientos que se podrían esperar en el futuro podrían resultar muy modestos (Artes, 2012). Por otra parte, la eficiencia total de un vehículo de gasolina convencional incluido todo el sistema de tracción y sistemas auxiliares, oscila entre el 17 y 21% y se estima que para un diseño óptimo esta eficiencia no alcanzaría a superar el 30% (U.S. Department of Energy, 2016). Esto induce a dirigir la mirada hacia otras alternativas de motorización como la de los autos eléctricos, los cuales pueden alcanzar eficiencias totales del 59 al 62% (U.S. Department of Energy, 2016) y con cero emisiones de contaminantes en la fase de operación, aunque la huella de carbono total de su implementación dependerá de la matriz de generación eléctrica del país.

La evolución de la matriz de generación eléctrica del Ecuador hacia una participación mayoritaria de fuentes renovables de energía (90% en 2016 según el entonces Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos – MICSE), principalmente la hidroenergía, permitirá que modalidades como el transporte 100% eléctrico, sean más atractivas desde el punto de vista ambiental y económico, debido a una cadena de oferta de energía eléctrica limpia y de bajo costo. Si bien sería apresurado pensar en una sustitución total de las modalidades convencionales de transporte de pasajeros en un corto o mediano plazo, existen ya estrategias gubernamentales para incentivar el uso de este tipo de vehículos a nivel de transporte privado y público.

La penetración de autos eléctricos livianos de pasajeros podría encontrar su principal nicho de mercado en el sector del taxismo, donde ya existen iniciativas nacionales como la de la ciudad de Loja, que desde enero de 2017, cuenta con una flota de 50 taxis 100% eléctricos. Otros proyectos que se han puesto en marcha a nivel nacional son la construcción del metro para Quito, el tranvía eléctrico para la ciudad de Cuenca y el sistema de teleféricos urbanos “Quito Cables”, encontrándose este último en etapa de estudios finales. También se puede considerar otras medidas para mejorar la eficiencia energética del sector y disminuir la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEIs), como la introducción de buses eléctricos, uso de vehículos con motores de combustión interna más eficientes, sustitución del transporte particular por transporte público masivo, etc.

Pregunta de investigación

¿Cuáles son las modalidades de transporte de pasajeros público y particular que pueden contribuir a mejorar la eficiencia energética del sector y reducir la emisión de contaminantes en el DMQ y que podrían ser implementadas al mediano plazo?

Objetivo general

Elaborar una propuesta de un plan de desarrollo energéticamente eficiente y de bajas emisiones de GEIs para el sector de transporte de pasajeros de la ciudad de Quito.

Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico y caracterización del sector transporte de pasajeros en la ciudad de Quito.

- Construir un escenario de línea base (*business as usual*) para una proyección de 20 años de la demanda y oferta de transporte de pasajeros en la ciudad de Quito.
- Identificar las alternativas de innovación tecnológica, que pueden contribuir a mejorar la eficiencia energética del sector y evaluar sus potenciales beneficios.
- Realizar la simulación de escenarios prospectivos de la aplicación de medidas de eficiencia energética y un análisis comparativo con el escenario de línea base.
- Elaborar un plan de aplicación de medidas factibles y coherentes de eficiencia energética en el transporte de pasajeros para ser implementadas en el corto y mediano plazo en la ciudad de Quito, en un horizonte total de proyección de 20 años.

Alcance

La presente tesis plantea determinar y evaluar las oportunidades de mejora de la eficiencia energética en los medios de transporte público y privado de pasajeros en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), analizando una posible diversificación de tecnologías que permita disminuir la demanda de combustibles, reducir la polución y el ahorro de divisas por concepto de subsidios.

Se pretende investigar sobre los más recientes avances tecnológicos en materia de transporte eficiente y ambientalmente amigable de pasajeros para zonas urbanas, considerando las características técnicas de cada una de ellas, como consumos específicos, factores de emisión de contaminantes, etc. Así como su aplicabilidad y desempeños en ciudades con la altitud y topología característica de la ciudad de Quito. Estas nuevas tecnologías pueden ser vehículos de servicio público y privado con motores de combustión interna de última generación, vehículos 100% eléctricos y vehículos híbridos.

Se ha limitado el estudio al transporte de pasajeros, ya que se considera como el segmento más versátil respecto a la diversificación tecnológica dentro del área urbana y específicamente al transporte motorizado.

El resultado esperado es la cuantificación de los beneficios energéticos, económicos y ambientales de las modalidades eficientes de transporte de pasajeros en el Distrito Metropolitano de Quito, lo que servirá de referencia metodológica para futuras réplicas del estudio en otros importantes centros urbanos del país.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Fundamentos de la prospectiva energética

1.1.1. Conceptos generales

De acuerdo al Manual de Planificación Energética de la Organización Latinoamericana de Energía, (OLADE, 2017), la elaboración de un plan de desarrollo, en cualquier ámbito, conlleva a la necesidad de manejar un elemento inherente a las previsiones a futuro como es la incertidumbre; este elemento es mucho más evidente cuando el área de estudio está estrechamente ligada con procesos sociales, como es el caso del transporte de pasajeros. El término incertidumbre se lo describe como la imposibilidad de conocer con certeza el resultado de las decisiones tomadas en el presente para hacer frente a los eventos del futuro, sin embargo, persiste la necesidad de planificar y tomar decisiones con la debida anticipación, sobre todo en sectores como el energético donde la demanda de los servicios básicos de energía, en países con economías emergentes, como la del Ecuador, experimentan un continuo crecimiento impulsados principalmente por el desarrollo económico y demográfico; y la implementación de la infraestructura necesaria para su abastecimiento, requiere plazos importantes para los estudios y la construcción.

La prospectiva energética es una herramienta que permite disminuir la incertidumbre en los procesos de toma de decisiones en el sector energético y se fundamenta en la construcción y evaluación sistematizada de escenarios tanto de demanda como de oferta de los servicios energéticos (OLADE, 2017).

1.1.2. Los escenarios energéticos

Desde hace varios años, se han venido desarrollando técnicas para la formulación de escenarios con aplicación a la planificación estratégica de negocios. Pierre Wack, por ejemplo, aplicó el planteamiento de escenarios al planeamiento estratégico de la Royal Dutch Shell en los años 70s describiendo a los escenarios como “descripciones intrínsecamente consistentes de futuros posibles” (OLADE, 2017).

Las variables involucradas en la construcción de escenarios energéticos pueden ser endógenas y exógenas, las variables endógenas son aquellas cuyo valor es determinado por la proyección o construcción del escenario, mientras que las variables exógenas son aquellas que provienen de proyecciones externas, que no forman parte del objetivo de la proyección pero que influyen sobre las variables endógenas. En el caso específico del

sector energético, las variables endógenas son la demanda y la oferta de energía, mientras que las variables exógenas pueden ser económicas, demográficas, ambientales, sociales, culturales, etc. (OLADE, 2017).

Tipos de escenarios energéticos por su forma de evolución

De acuerdo a la forma como evoluciona el sistema en el período de proyección, los escenarios energéticos pueden ser tendenciales, evolutivos o de ruptura. Los escenarios tendenciales son aquellos que conservan la inercia del sistema y por lo tanto los patrones y tendencias de evolución histórica del mismo. En un estudio de prospectiva sirven como línea base para fines comparativos de los efectos de la implementación de una nueva política de desarrollo. A este tipo de escenarios se les suele denominar con el término en inglés "*Business as usual*" o de manera abreviada "escenario BAU". Los escenarios evolutivos, presentan cambios en los patrones históricos de comportamiento respondiendo paulatinamente al estímulo de una nueva política de desarrollo, mientras que los escenarios de ruptura cambian abruptamente de dirección y responden generalmente a la finalización definitiva de una tendencia de desarrollo, reemplazada de manera instantánea por una nueva. De acuerdo al principio de inercia y de mejora continua, los escenarios con mayor probabilidad de ocurrencia tienden a ser los evolutivos (OLADE, 2017).

Tipos de escenarios energéticos por su método de construcción

De acuerdo a su método de construcción, se pueden clasificar los escenarios de dos maneras, la primera distingue entre escenarios exploratorios y escenarios de anticipación; los exploratorios, describen una amplia gama de futuros posibles a partir de una realidad actual, mientras que los de anticipación, determinan la imagen de un futuro deseable y describen el camino para llegar a él. A este segundo tipo de escenarios se le suele denominar con la palabra en inglés "*Roadmap*". Una segunda clasificación divide los escenarios en analíticos e intuitivos; los analíticos intentan modelizar cuantitativamente las correlaciones existentes entre los eventos que determinan un futuro posible, mientras que los intuitivos, recurren a la consulta de grupos de expertos para procesar de manera sistematizada sus criterios y apreciaciones. El método de tipo intuitivo más utilizado para la construcción y evaluación de escenarios es el "Método Delphi". Los métodos analíticos se recomiendan más para su aplicación en estrategias de negocios, mientras que los métodos intuitivos son más adecuados en ámbitos relacionados con procesos sociales,

como lo es precisamente el sector energético. Albert Einstein expresó: “La única cosa realmente valiosa es la intuición” (OLADE, 2017)

Al referirse a la condición ineludible en el proceso de construcción de escenarios, Denes Martos¹ expresó: “Un escenario ni siquiera tienen porqué ser creíble o probable porque los constantes procesos de cambio operan muy fuertemente sobre lo que en un momento dado se considera creíble o probable. Lo único que necesariamente tiene que ser es intrínsecamente consistente” (OLADE, 2017).

1.2. Prospectiva del sector transporte de pasajeros

1.2.1. Conceptos generales

En cualquier sector mercantil, la prospectiva consiste en realizar previsiones de la demanda y oferta del producto o servicio que se intercambia o tranza en dicho sector. La demanda representa el deseo del consumidor de adquirir el producto o servicio y dependerá entre otras cosas del precio del mismo y del ingreso del consumidor; mientras que la oferta es la cantidad de productos o servicios que el productor está dispuesto a colocar a disponibilidad del consumidor, a un precio determinado (Instituto Mexicano del Transporte, 2002).

En el sector transporte, la demanda es una variable derivada, es decir que se demanda transporte para cubrir otra necesidad principal, como lo es el propósito del viaje (trabajo, estudios, turismo, etc). La oferta en este sector, corresponde al tipo y cantidad de modalidades de transporte que están disponibles para cubrir la demanda, bajo una tarifa determinada (Instituto Mexicano del Transporte, 2002).

El sector transporte es uno de los sectores de consumo energético, que presenta mayor complejidad para su estudio, debido a la dificultad en la recopilación de la información de base, necesaria para caracterizar la demanda y oferta de este servicio. En la mayoría de los países de América Latina, la información del sector transporte, sobre todo del carretero, se encuentra dispersa, poco sistematizada y desactualizada (OLADE, 2017).

Para el caso de la demanda de combustibles, la prospectiva consistiría en determinar el consumo acumulado de todas las modalidades de transporte o tipos de vehículos, en el

¹ Politólogo húngaro experto en análisis de riesgos y procesos sociopolíticos.

período de estudio, mediante la ecuación conocida como VKR (Vehículos, Kilometraje, Razón de consumo) que se indica en la Ec. 1.1 (OLADE, 2017).

$$Ce = \sum_{i=1}^n V_i * K_i * R_i \quad \text{Ec. 1.1}$$

Donde:

Ce = consumo de combustible en el sector transporte (l)

n = número de modalidades de transporte o categorías de vehículos

V_i = Numero de vehículos de la categoría i

K_i = distancia recorrida por los vehículos de la categoría i (km)

R_i = Consumo específico de combustible de la categoría i (l/km)

No obstante, para una prospectiva que involucre medidas de eficiencia energética del sector, es necesario profundizar en el análisis más allá de la energía de abastecimiento o energía final, llegando a niveles de energía útil². Si bien en el estricto sentido de la palabra, para obtener información de la energía útil proporcionada por un medio de transporte se debería escrudñar en las eficiencias de los procesos termodinámicos y mecánicos de los vehículos, lo cual resultaría sumamente complejo e impráctico, se puede recurrir a un indicador que representa la magnitud tangible del servicio obtenido por el usuario, que en el caso del transporte de pasajeros corresponde a su movilización en una distancia determinada desde un punto origen a un punto destino, lo que generalmente se denomina como un “viaje”. De esta forma, la demanda del sector transporte de pasajeros se traducirá en número de viajes en un determinado período de tiempo.

Al estar expresada la demanda del servicio de transporte de pasajeros en viajes, la eficiencia de una modalidad de transporte motorizada, se definiría como el gasto energético necesario para cubrir un número determinado de viajes, lo que a la vez se puede relacionar con las distancias recorridas y el número de pasajeros que pueden ser desplazados simultáneamente en dichas distancias. Este indicador se conoce como pasajero*kilómetro y se representa con las siglas PKM (OECD/IEA, 2009). De esta forma la eficiencia o más

² Energía útil es la energía obtenida por el consumidor luego de todas las etapas de transformación de una fuente de energía en una determinada cadena energética. (OLADE, 2017)

bien dicho, el rendimiento energético de una determinada modalidad de transporte de pasajeros se expresaría en términos de la energía necesaria para transportar una unidad de PKM. En el presente trabajo se ha seleccionado como unidad de energía el TJ (TeraJoule); y como unidad de tiempo el año; y con el fin de facilitar el manejo de las cifras, la capacidad de cada modalidad de transporte de pasajeros se expresará en millones de PKM/año (MPKM/año) y la eficiencia de dicha modalidad en TJ/MPKM.

1.2.2. Determinación de la demanda de transporte de pasajeros en el año base

Existen dos alternativas como se puede evaluar la demanda de transporte de pasajeros para un año histórico como es el año base: la primera desde el punto de vista de los usuarios, representada por el número y características de los viajes que realizaron o tuvieron la intención de realizar; y la otra desde el punto de vista de los transportistas, valorada en función del número de pasajeros transportados y los kilómetros recorridos por sus unidades en dicho año (Instituto Mexicano del Transporte, 2002). La primera alternativa es más compleja debido a que requiere de encuestas y técnicas estadísticas, mientras que la segunda se basa en los registros de cooperativas de transporte, gremios e instituciones oficiales reguladoras del Sector. Para el presente trabajo, se seleccionó la segunda alternativa, para valorar la demanda de transporte de pasajeros del DMQ en el año base (2015), expresada en MPKM, haciendo uso de la siguiente información:

- Estructura del parque vehicular de transporte de pasajeros que circula en la ciudad, respecto al número de vehículos de los diferentes tipos o categorías.
- Kilometraje medio de recorrido anual por cada categoría de vehículo.
- Capacidad de transporte de pasajeros (número de pasajeros que pueden ser transportados simultáneamente).
- Factor de ocupación, puede ser expresado en porcentaje de la capacidad de transporte o directamente en número medio de pasajeros transportados simultáneamente.
- Número de recorridos anuales o distancia en kilómetros de cada recorrido.

En el caso del transporte público de pasajeros, las empresas operadoras de este servicio suelen disponer de información respecto al recorrido total anual de todas sus unidades y el número de pasajeros transportados al año, calculado en base a la facturación. En estos casos hay que tener precaución de no confundir el indicador de MPKM/año con la

multiplicación simple de los mencionados valores, ya que la idea del indicador es medir el servicio en términos de número de pasajeros transportados y distancia recorrida simultáneamente (OECD/IEA, 2009). El cálculo del indicador se muestra en la siguiente expresión matemática (Ec. 1.2).

$$PKM = \sum_i^n \sum_j^m P_{ij} * K_{ij} \quad \text{Ec. 1.2}$$

Donde:

n = número de vehículos

m = número de recorridos de cada vehículo

P_{ij} = Pasajeros transportados en el recorrido j del vehículo i

K_{ij} = Distancia en kilómetros del recorrido j del vehículo i

Mientras P y K sean variables para cada vehículo y en cada recorrido, por las propiedades de la multiplicación los PKM totales son diferentes al producto de los totales individuales de cada parámetro como se observa en la Ec. 1.3.

$$PKM \neq \left(\sum_i^n \sum_j^m P_{ij} * \sum_i^n \sum_j^m K_{ij} \right) \quad \text{Ec. 1.3}$$

Si bien la Ec. 1.2, resulta simple desde el punto de vista matemático, puede resultar muy compleja respecto a la determinación de las variables involucradas, sin embargo, el cálculo se puede relajar de manera importante si P y/o K se los considera valores medios constantes para una determinada modalidad de transporte o categoría de vehículo, por ejemplo si se tiene información del kilometraje promedio por cada recorrido de una determinada línea o ruta de transporte público y el número promedio de pasajeros transportados en cada recorrido, por simple deducción algebraica, la Ec. 1.2 puede transformarse en una de las ecuaciones siguientes:

Si P es promedio de cada vehículo

$$PKM = n * P * \sum_j^m K_j \quad \text{Ec. 1.4}$$

Si K es promedio de cada recorrido

$$PKM = m * K * \sum_i^n P_i$$

Ec. 1.5

Si P y K son promedios de cada vehículo y recorrido

$$PKM = n * m * P * K$$

Ec. 1.6

El cálculo de los valores promedio P y/o K depende de la información que se tenga disponible para cada modalidad de transporte. Por ejemplo, en el caso de los vehículos particulares se puede obtener información del kilometraje medio anual y el factor de ocupación medio de dichos vehículos, el cual se consideraría igual al valor P. Los PKM anuales de los vehículos particulares de cada categoría se calcularía con la ecuación Ec. 1.7.

$$PKM = n * P * K_a$$

Ec. 1.7

Donde:

n = número de vehículos particulares de cada categoría

P = factor de ocupación medio (número de pasajeros incluido el chofer)

K_a = Kilometraje promedio anual

En el caso del transporte público, específicamente de los buses, si se conoce el factor de ocupación promedio y la distancia de cada recorrido para cada línea o ruta, se podría calcular los PKM anuales con la ecuación Ec. 1.8.

$$PKM = 365 * n * m * P * K_d$$

Ec. 1.8

Donde:

n = número de unidades de cada ruta

m = número de recorridos diarios de la ruta o línea

P = factor de ocupación (número medio de pasajeros transportados en cada recorrido)

K_d = Distancia en kilómetros en cada recorrido.

Si bien la frecuencia de los recorridos suele variar dependiendo si son días laborables o festivos, se puede compensar este efecto con un valor medio de frecuencia diaria.

Para el caso que se había mencionado en el que las cooperativas o empresas operadoras de transporte reportan valores anuales de pasajeros transportados y kilómetros recorridos por la totalidad de sus unidades, se debe tratar de conocer o estimar el número de recorridos anuales, para convertir el dato total de pasajeros transportados en un valor medio de pasajeros transportado por recorrido. De esta forma el cálculo de los PKM anuales se lo realizaría usando la ecuación Ec. 1.9.

$$PKM = (P_a * K_a) / R_a \quad \text{Ec. 1.9}$$

Donde:

P_a = Número total de pasajeros anuales

K_a = Kilometraje total anual

R_a = número total de recorridos anuales de la ruta o cooperativa

1.2.3. Proyección de la demanda de transporte de pasajeros

Como se mencionó anteriormente, la demanda del servicio de transporte de pasajeros surge de la necesidad que tienen los ciudadanos de desplazarse de un lugar a otro para cumplir alguna de sus tareas cotidianas, para lo cual pueden hacer uso de alguna de las modalidades disponibles de transporte ya sea público o particular. La proyección de dichos requerimientos de transporte, se la puede realizar mediante métodos econométricos, correlacionando información extraída de encuestas nacionales con variables exógenas como el crecimiento poblacional, la evolución del ingreso per cápita y el desarrollo urbano. Otro método es recurrir a series históricas de facturación del servicio de transporte público y ventas anuales de automóviles particulares, para identificar tendencias de crecimiento del uso de cada modalidad (OLADE, 2017).

1.3. NDCs del Ecuador

El Ecuador como país signatario “No anexo I” de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, no tiene compromisos obligatorios de reducción de emisiones de GEIs, de acuerdo al protocolo de Kioto. Sin embargo, en el marco del Acuerdo de París, establecido durante la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático del año 2015 (COP21), los países participantes adoptaron metas de reducción de emisiones de GEIs, conocidas como Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDCs por sus siglas en inglés), las cuales pueden ser incondicionales y condicionales; las incondicionales son las que los países se comprometen a alcanzar con sus propios recursos económicos, mientras que las condicionales requieren para su cumplimiento de ayuda financiera externa. El Ecuador como participante de dicha iniciativa, estableció como meta incondicional en sus NDCs, alcanzar entre un 20,4 y 25% de reducción de emisiones de GEIs del sector energético, respecto a un escenario BAU hasta el 2025 (Gobierno del Ecuador, 2015). Debido a la ausencia de una meta establecida hasta el 2030, se considera válido el mismo rango de reducción del año 2025.

2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

2.1. Metodología general

Para el cumplimiento del objetivo general propuesto, se aplica como metodología, la construcción y simulación de escenarios exploratorios (¿qué pasa si?) para el período 2015-2035, con diferentes premisas sobre la participación de modalidades existentes y nuevas de transporte de pasajeros, en el abastecimiento de la demanda de movilidad de los ciudadanos de Quito. Dada la diferencia en las características técnicas y operativas de cada una de las modalidades, se obtienen como resultado indicadores específicos para cada escenario, de tipo energético, ambiental y económico; los cuales sirven de base para sustentar la propuesta del plan de desarrollo del sector.

El estudio se inicia con un diagnóstico de la situación del sector en el año base (2015), en el cual se levanta información sobre la dimensión y características del parque vehicular que presta servicio de transporte de pasajeros en el DMQ. La finalidad de este diagnóstico es determinar la oferta total del servicio, en términos de la cantidad de kilómetro*pasajero transportado, su composición estructural respecto a las diferentes modalidades disponibles, tanto de transporte público como particular y los consumos específicos de energía de cada modalidad.

Posteriormente es necesario conocer la proyección de la demanda del servicio de transporte de los habitantes de Quito en el período de estudio (2015-2035). Para tal efecto, y partiendo de la cobertura calculada para el año base, se proyectó dicha demanda, utilizando las tasas de crecimiento promedio anual obtenidas para el período 2013-2025, en el estudio “Nama sobre movilidad urbana en Quito, Ecuador”, elaborado por la consultora MGM Innova para el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) en el año 2014. El mencionado estudio analiza la posibilidad de generar una NAMA³ a partir de la implementación del Metro de Quito (MGM Innova, 2014).

³ Acción de Mitigación Nacionalmente Apropiada (NAMA por sus siglas en inglés) es una iniciativa soberana de mitigación del Cambio Climático que formula un país.

Una vez determinada la proyección de la demanda, se construye un escenario tendencial (BAU) de la oferta del servicio, bajo la premisa que, las modalidades de transporte, vigentes en el año base, mantendrán su participación porcentual, dentro de su respectivo tipo de servicio (público o particular), cubriendo la demanda hasta el horizonte de estudio. Este escenario constituye la línea base o de referencia para el análisis comparativo de indicadores energéticos, ambientales y económicos.

Los indicadores energéticos se refieren al consumo de energía y de combustibles; y al consumo unitario total de energía en cada escenario. Los ambientales, son las emisiones totales de GEIs en kt de CO₂ eq. y el factor total de emisiones en kg CO₂ eq./PKM; y finalmente los económicos incluyen el costo total de abastecimiento de energía en MUSD y el costo unitario de abastecimiento en USD/PKM.

Luego, se procede a caracterizar las nuevas modalidades de transporte de pasajeros que forman parte del Plan de movilidad del DMQ, así como otras que tengan la posibilidad de ser implementadas en la ciudad y que contribuyan a incrementar la eficiencia energética del Sector. Con esta información, se procede a elaborar el primer escenario alternativo eficiente, con un criterio conservador (EEC), en el cual se simula las medidas de eficiencia que ya se encuentran en proceso de implementación en el DMQ, como la incorporación de buses biarticulados, la primera línea del Metro de Quito, la primera línea del sistema Quito Cables e incorporación de autos híbridos y eléctricos.

Posteriormente, se comparan los escenarios BAU y EEC y se determina si con las premisas del escenario EEC, se podría alcanzar el porcentaje de reducción de emisiones establecido como meta en las NDCs de Ecuador. Si esto se cumpliera, el plan de desarrollo a proponer correspondería a la implementación de este primer escenario alternativo, caso contrario, se pasa a la construcción de un segundo escenario eficiente, mucho más optimista, el cual considera, ampliación de los sistemas de transporte masivo simulados en el escenario EEC, penetración de buses eléctricos para el SMT, incorporación de taxis eléctricos, intensificación del uso de vehículos híbridos y eléctricos particulares, entre otras medidas. Se ajustan las premisas de este segundo escenario, de manera que el porcentaje de reducción de emisiones de GEIs, alcance la meta establecida por el Ecuador en su NDCs.

Una vez alcanzada la meta, se estructura el cronograma de implementación de las medidas de eficiencia, que mayores beneficios represente para el sector, los cual constituye la

propuesta del plan de desarrollo eficiente del transporte de pasajeros en el DMQ, objetivo general del presente trabajo.

En la Figura 2.1, colocada a continuación, se puede observar el flujograma de las diferentes etapas de la metodología propuesta.

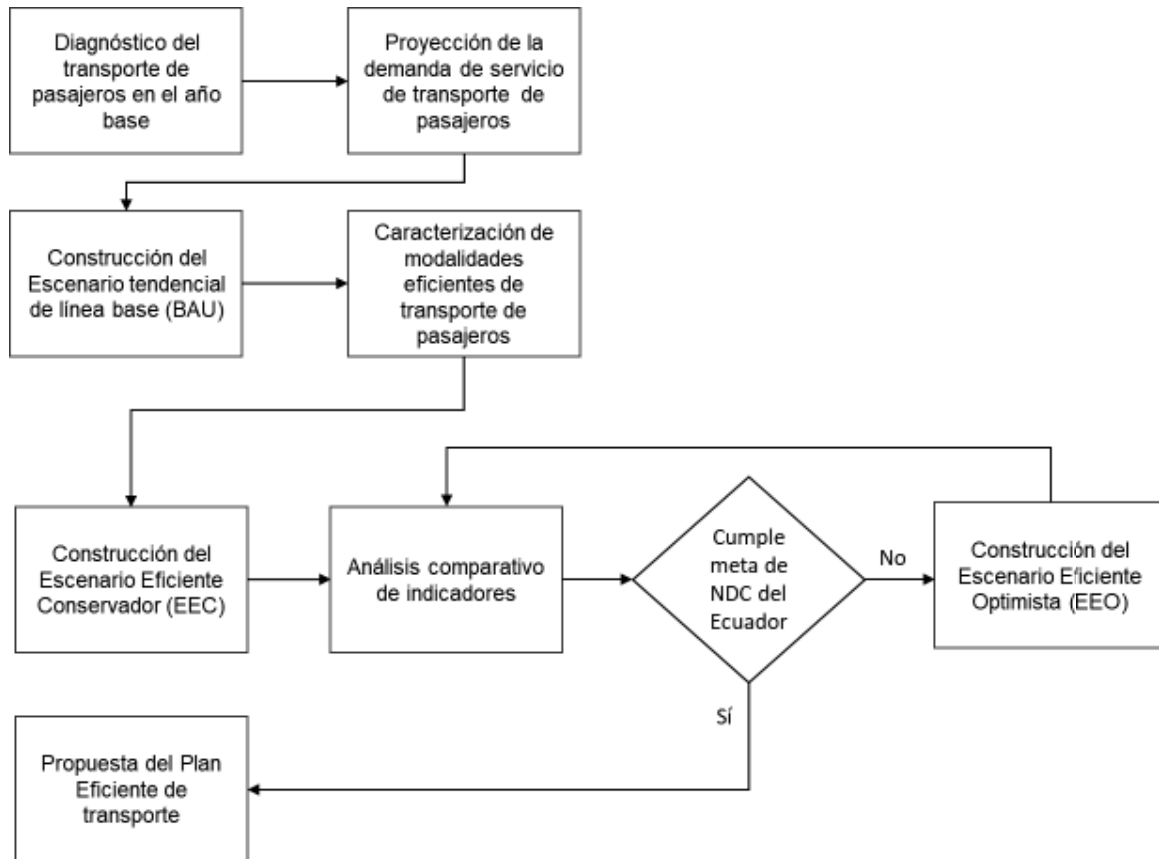


Figura 2.1. Flujograma del desarrollo del estudio

(Fuente: Elaboración propia)

2.2. Determinación de los consumos específicos de energía

Las diferentes marcas, modelos y tipos de vehículos de transporte, disponen de especificaciones técnicas donde presentan valores promedio de rendimientos energéticos, respecto a las distancias recorridas; estos rendimientos se suelen presentar en litros de combustible por cada 100 km (l/100km), para el caso de los vehículos a combustión interna y en kWh por cada 100 km (kWh/100 km) para el caso de los vehículos eléctricos.

Si bien es conocido que el consumo real de un vehículo depende de un gran número de parámetros como: velocidad, peso, tipo de carretera, topología del terreno, altura geográfica, poder calorífico del combustible, tipo de sistema de transmisión, entre otros, la incertidumbre que involucra un estudio de prospectiva a mediano plazo, es de tal magnitud que opaca cualquier imprecisión que pudiere surgir de la omisión de algunos de dichos parámetros, razón por la cual para el presente trabajo se utilizan los valores nominales de rendimiento, corregidos con un factor de altura geográfica y transformados a eficiencias en términos de TJ/MPKM, utilizando valores medios de poderes caloríficos inferiores de los combustibles y factores de conversión de unidades, tomados del Manual de Estadísticas Energéticas de OLADE, así como el factor medio de ocupación de cada una de las modalidades de transporte. Para el caso de los vehículos a combustión interna se utilizó la siguiente ecuación (Ec. 2.1) para determinar la eficiencia.

$$EE = (0,365 * Rc * Pc * Fa)/U \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde:

EE = eficiencia energética del vehículo (TJ/MPKM)

Rc = Rendimiento del combustible (l/100 km)

Pc = Poder calorífico inferior del combustible (bep/bbl)

Fa = factor de altura geográfica (p.u.)

U = Ocupación media del vehículo (número de pasajeros)

El factor 0,365, resulta del siguiente proceso de conversión de unidades:

$$\frac{l}{100 \text{ km}} * \frac{\text{bep}}{\text{bbl}} * \frac{1 \text{ bbl}}{159 \text{ l}} * \frac{\text{TJ}}{172,2 \text{ bep}} * 10^6 \text{ km} = 0.365$$

Para el caso de los vehículos eléctricos donde se conoce el rendimiento energético en kWh/100 km la ecuación para el cálculo de la eficiencia en términos de TJ/MPKM se expresa de la forma que se observa en la Ec. 2.2.

$$EE = (0,036 * Rc)/U \quad \text{Ec. 2.2}$$

Donde:

EE = eficiencia energética del vehículo (TJ/MPKM)

Rc = Rendimiento energético (kWh/100 km)

U = Ocupación media del vehículo (número de pasajeros)

El factor 0,036, resulta del siguiente proceso de conversión de unidades:

$$\frac{kWh}{100 km} * \frac{1 TJ}{277,95 MWh} * \frac{1 MWh}{1000 kWh} * 10^6 km = 0.036$$

Los consumos específicos de energía en términos de TJ/MPKM se consideran variables intensivas o características intrínsecas de cada modalidad y tecnología de transporte, de esta forma, una reducción en dichos consumos requiere una mejora tecnológica o una sustitución de la modalidad de transporte; por ejemplo, introducir en el parque vehicular actual, vehículos con motores de combustión interna más eficientes, sustitución de autos particulares por sistemas de servicio público, reemplazo de vehículos de combustión interna por vehículos eléctricos, etc.

2.3. Factores de emisión de GEIs del transporte de pasajeros

Para determinar las emisiones de GEIs en cada uno de los escenarios proyectados, se usan en el presente estudio los factores de emisión de referencia disponibles en el documento “Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero” en su Capítulo 3 sobre “Combustión Móvil” (IPCC, 2006). Dicho documento proporciona factores de emisión de CO₂, CH₄ y N₂O, de acuerdo al combustible utilizado.

Para el caso de la electricidad se utiliza el factor de emisión de CO₂ equivalente de las centrales eléctricas, resultante de dividir las emisiones totales de CO₂ de esta actividad sobre el total de electricidad generada por la misma, que de acuerdo al Balance Energético Nacional 2016 son de 5.981 kt de CO₂ eq. y 13.480 kbep respectivamente (MICSE, 2016). Con estos valores el factor de emisión de GEI para la electricidad, resulta ser de 0,4436 kt de CO₂ eq. / kbep, equivalente a 0,0764 kt de CO₂ eq./TJ según los factores de conversión de unidades energéticas de OLADE (OLADE, 2017). Cabe anotar que el factor de emisión de la electricidad puede ir variando en el tiempo, conforme se modifique la matriz de generación eléctrica en el País.

En la Tabla 2.1, se presentan los valores por defecto de factores de emisión de GEIs para los vehículos de transporte terrestre recomendados por el IPCC.

Tabla 2.1. Factores de emisión de GEIs por defecto de los vehículos de transporte terrestre

Combustible	CO ₂ (kg/TJ)	CH ₄ (kg/TJ)	N ₂ O (kg/TJ)
Diésel	74.100	3,9	3,9
Gasolina	69.300	25,0	8,0
Etanol	65.000	18.0	

(Fuente: IPCC)

Dado que el factor de emisión de la electricidad está en kt de CO₂ eq /TJ es necesario convertir todos los factores de emisión a esta misma unidad para efectos de agregación. Usando el factor de conversión conocido como Potencial de Calentamiento Global (GWP por sus siglas en inglés)⁴, es posible convertir los factores de emisión de CH₄ y N₂O a factores de emisión de CO₂ equivalente. Para realizar la conversión se multiplica los factores de emisión de los diferentes GEIs por sus respectivos valores de GWP (IPCC, 2006).

En la Tabla 2.2, se indican los valores de GWP recomendados por el IPCC, para el CH₄ y el N₂O. El GWP del CO₂ es obviamente igual a la unidad.

Tabla 2.2. Factores de emisión de GEIs por defecto de los vehículos de transporte terrestre

GEI	GWP (100 años)
CH ₄	25
N ₂ O	298

(Fuente: IPCC, 2014)

En la Tabla 2.1 y Figura 2.2, se indican los factores de emisión de GEIs de las fuentes de energía utilizadas en el transporte de pasajeros del DMQ en términos de kt de CO₂ eq./TJ.

Tabla 2.3. Factores de emisión de GEIs en kt de CO₂ eq. / TJ.

Fuente de Energía	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total
Diésel	0,0741	0,0001	0,0012	0,0754
Gasolina	0,0693	0,0006	0,0024	0,0723
Etanol	0,0650	0,0005		0,0655
Electricidad				0,0764

(Fuente: elaboración propia con base en información del IPCC)

⁴ El GWP es una medida relativa del calor atrapado en la atmósfera por un GEI en un determinado período de tiempo comparado con el calor atrapado por una masa similar de CO₂

Si bien los factores de emisiones de los motores de combustión interna podrían sufrir cambios en el tiempo conforme mejoran las tecnologías de diseño; y el factor de emisiones de la electricidad en Ecuador mejorará conforme se diversifique la matriz de generación eléctrica hacia uso de fuentes más limpias, para efecto de la presente prospectiva, estos factores se consideran constantes en todo el período de proyección. Como se puede observar en la Figura 2.2, en el año base, el factor de emisión de GEIs de la electricidad es más alto que el del diésel y la gasolina.

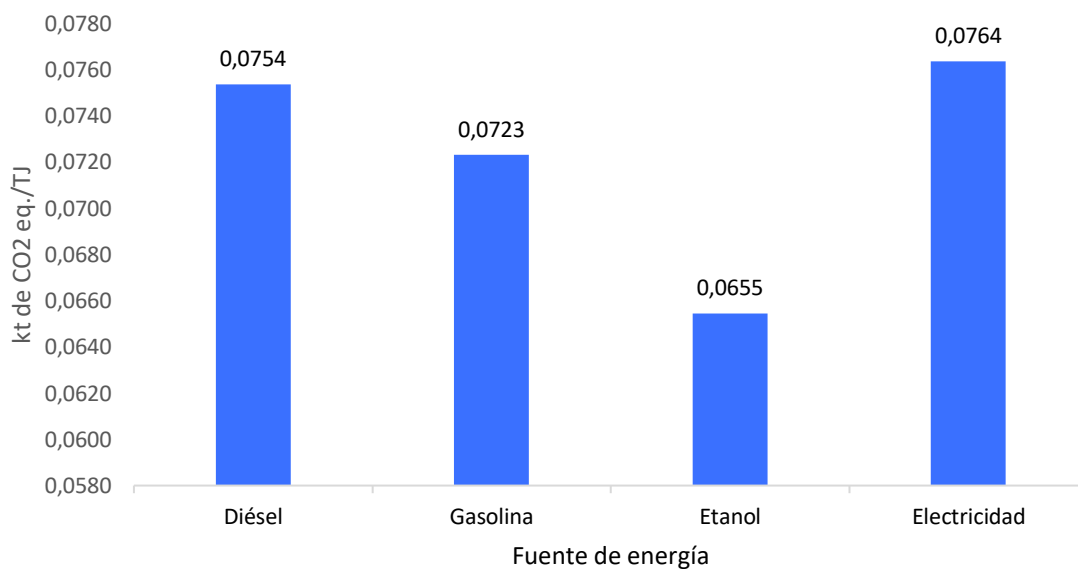


Figura 2.2. Factores de emisión de GEIs en kt de CO₂ eq. / TJ.
(Fuente: Elaboración propia con base en información del IPCC)

2.4. Costos unitarios del suministro de energía

Un indicador importante para determinar el beneficio económico para el País, de la implementación de medidas de eficiencia energética en el transporte de pasajeros, es el costo del suministro de energía para dicho sector de consumo. Si bien la penetración de nuevas modalidades de transporte implica costos específicos de implementación y operación, se asume que cada una de ellas cuenta con estudios previos de factibilidad que aseguran su sustentabilidad económica y financiera.

En este estudio, se analizarán los costos unitarios de suministro de las fuentes de energía, en función de los precios internacionales de los combustibles y el costo del servicio eléctrico para la ciudad de Quito.

Como referencia para el precio internacional de la gasolina y el diésel se toman los últimos datos de precios de importación reportados por el Banco Central correspondientes a marzo de 2016 (BCE, 2016). El costo del etanol carburante se tomó de un informe de CEPAL sobre los costos de este combustible en países de América Central.

En la Tabla 2.9, se indican los costos unitarios para cada combustible en USD/bbl con su respectiva equivalencia a USD/TJ.

Tabla 2.4 Precios internacionales de los combustibles.

Combustible	Precio (USD/bbl)	Factor calórico (TJ/bbl)	Precio (USD/TJ)
<i>Diésel</i>	47,1	0,0058	8.121
<i>Gasolina</i>	55,7	0,0052	10.712
<i>Etanol</i>	55,7	0,0037	15.041

(Fuente: BCE, OLADE y CEPAL)

Ante la incertidumbre de la variación de los precios internacionales de los combustibles en el futuro, se asumirá para la proyección la tasa de variación del último año de los precios del diésel y la gasolina FOB en Estados Unidos, reportada por la Administración de Información Energética de ese país (Energy Information Administration EIA, 2017). La tasa de variación anual entre mayo de 2016 y mayo de 2017 resulta ser de 6,3% para el diésel y de -1,3% para la gasolina (Ver Figura 2.3). Para el etanol se asumió la misma tasa de la gasolina.

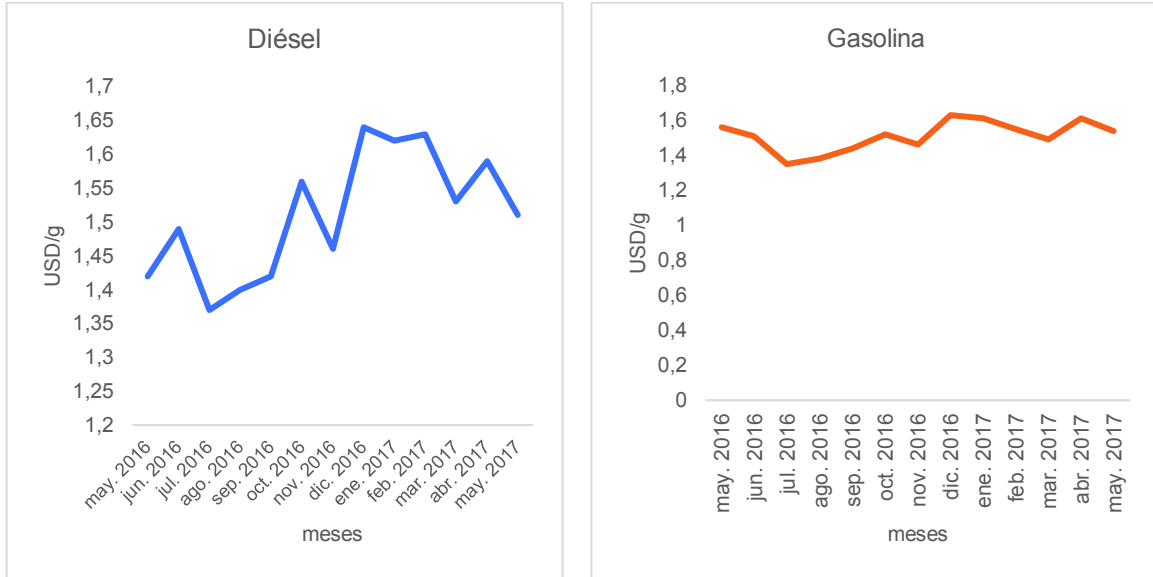


Figura 2.3. Precios mensuales del diésel y la gasolina en EEUU
(Fuente: EIA, 2017)

Según el Plan Maestro de Electricidad 2016-2025 elaborado por el MEER (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2017), el costo medio del servicio eléctrico evolucionará a partir del año 2016, para un escenario base, como se puede observar en la Figura 2.4. Para el año base del presente estudio, (2015) se asumió el mismo valor medio presentado por el MEER para el año 2016.

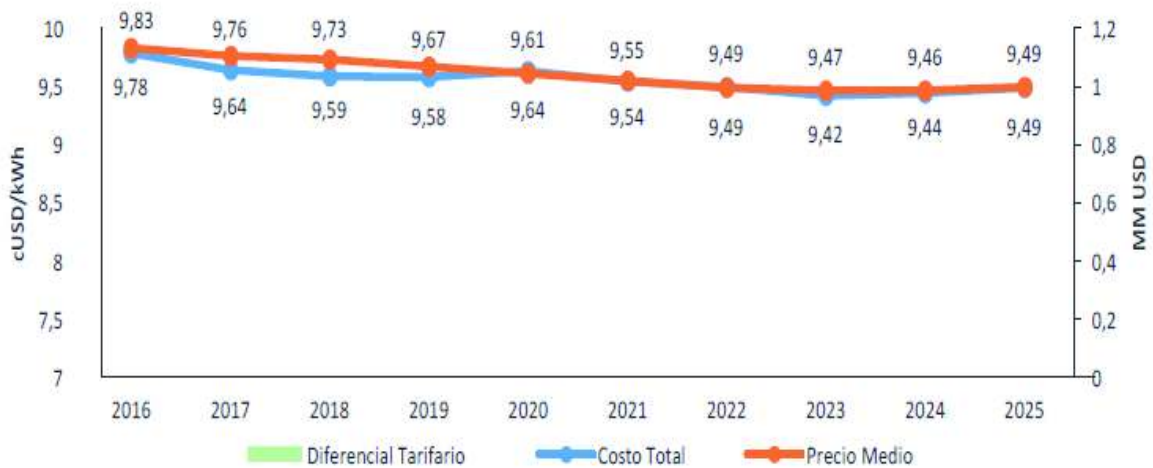


Figura 2.4. Evolución de los costos del servicio eléctrico en el Ecuador
(Fuente: Plan Maestro de Electrificación 2016-2025, MEER, 2017)

Con la información expuesta anteriormente, se obtiene las proyecciones de los costos unitarios de energía para las fuentes de suministro al transporte de pasajeros del DMQ, que se observan en la Tabla 2.5 y en la Figura 2.5.

Tabla 2.5 Costo unitario de las fuentes de energía para el transporte de pasajeros en el DMQ (USD/TJ).

Fuente	2015	2020	2025	2030	2035	t.p.a.
<i>Gasolina</i>	10.712	10.033	9.398	8.803	8.245	-1,3%
<i>Diésel</i>	8.121	11.022	14.960	20.305	27.559	6,3%
<i>Electricidad</i>	27.322	26.711	26.377	26.377	26.377	-0,2%
<i>Etanol</i>	15.041	14.088	13.196	12.360	11.577	-1,3%

(Fuente: elaboración propia)

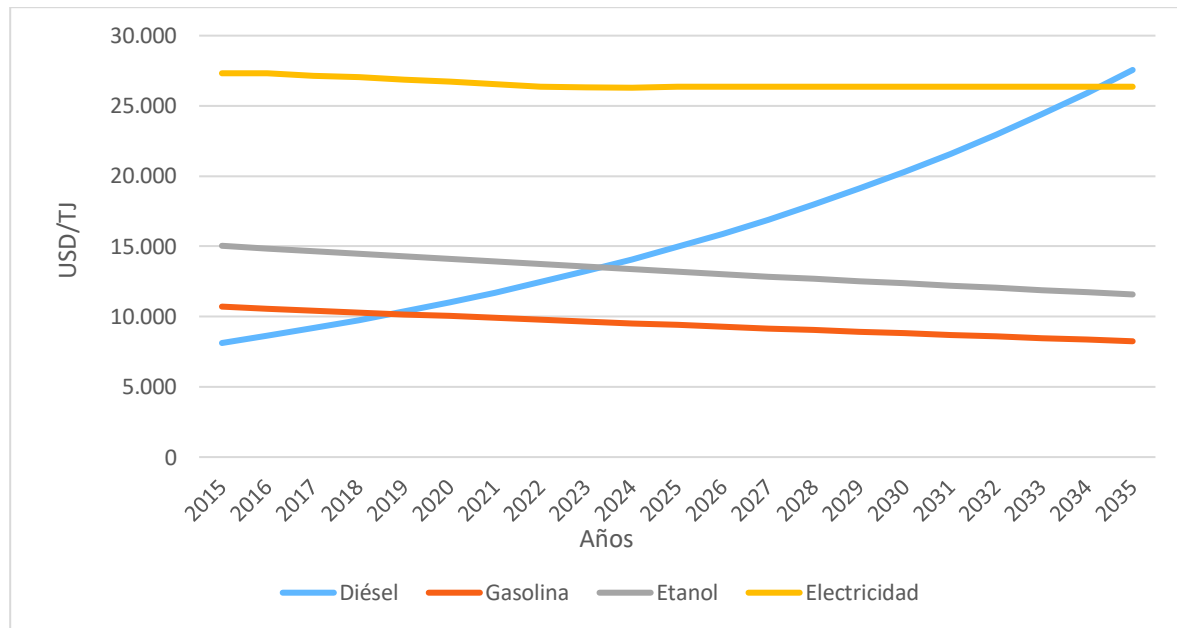


Figura 2.5. Evolución de los costos unitarios de las fuentes de energía

(Fuente: elaboración propia)

Para el cálculo de los costos totales por escenario para el período de proyección, se multiplican los costos unitarios por la energía consumida de cada fuente.

2.5. Diagnóstico del transporte de pasajeros en el DMQ, para el año base

2.5.1. Caracterización del parque vehicular de transporte de pasajeros

El parque vehicular de transporte de pasajeros en Quito, se divide en dos grandes categorías: las unidades de servicio público y las unidades de servicio particular, cada una con sus respectivas subcategorías como se observa en la Figura 2.6.

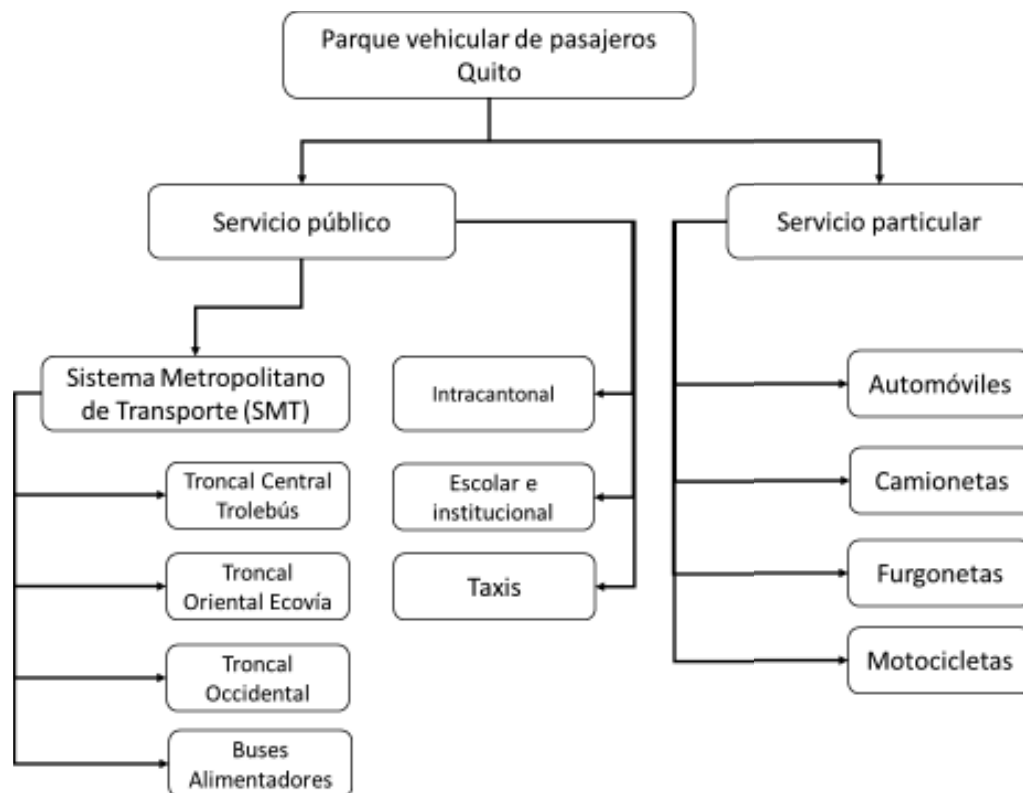


Figura 2.6. Estructura del parque vehicular de pasajeros por tipo de servicio.

(Fuente: Elaboración propia en base a información de la AMT, EMT PQ y Secretaría de Movilidad del Municipio de Quito)

Servicio público de transporte de pasajeros

En el DMQ, el transporte público de pasajeros actualmente se compone de 4 modalidades principales de acuerdo al tipo de servicio:

1. El sistema metropolitano de transporte (SMT).
2. Sistema de transporte intracantonal
3. Transporte escolar e institucional (buses y busetas)
4. Taxis

El Sistema Metropolitano de Transporte (SMT)

El Sistema Metropolitano de Transporte de Quito, consiste en 3 líneas troncales de buses de alta capacidad (articulados y biarticulados) que circulan en corredores exclusivos bajo una modalidad BRT (*Bus Rapid Transit*) y una flota de buses alimentadores convencionales. El sistema incluye infraestructura de paradas preestablecidas, estaciones de transferencia de pasajeros y terminales. Las líneas troncales del Sistema Metropolitano de transporte son:

- Troncal Central Trolebús,
- Troncal Oriental Ecovía,
- Troncal Occidental

En la Figura 2.7 se observa el mapa de las rutas troncales del SMT.

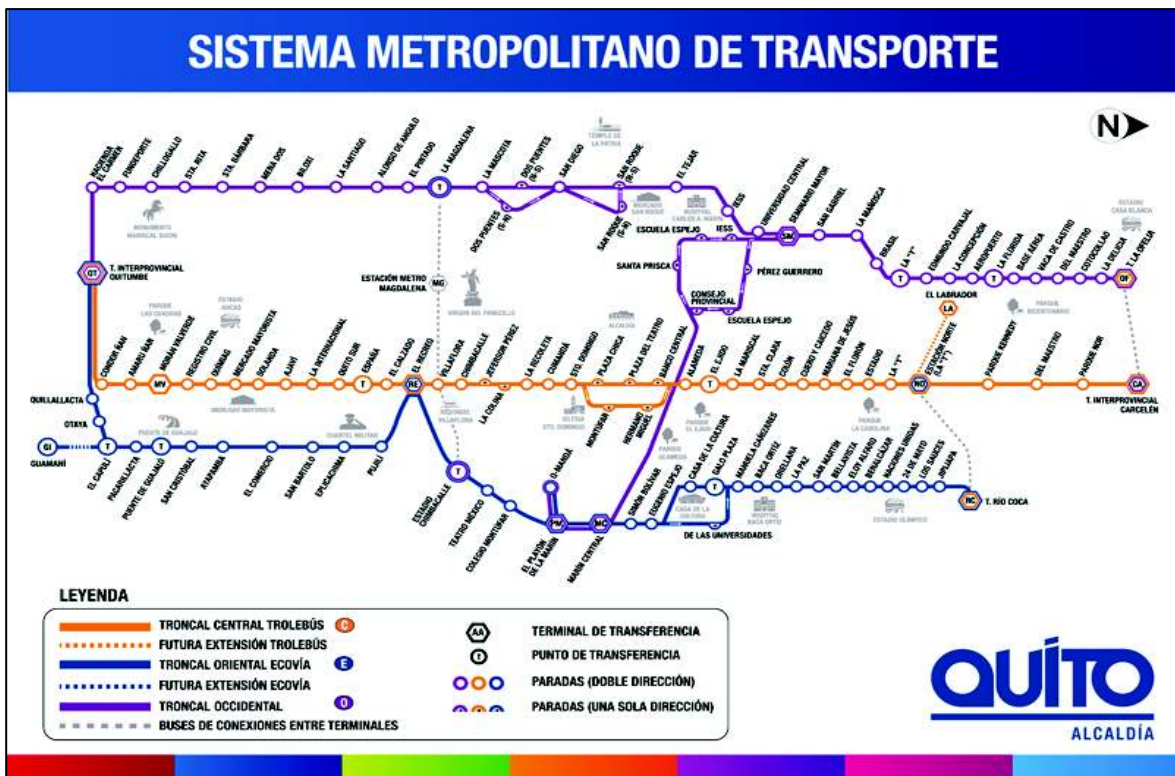


Figura 2.7. Mapa del Sistema Metropolitano de Transporte

(Fuente: <http://www.trolebus.gov.ec>)

En la Figura 2.8, se muestra una fotografía de los buses biarticulados integrados al SMT en el año 2016 y las nuevas paradas del corredor central del trolebús.



Figura 2.8. Foto de la Actual Troncal Central del Trolebús

(Fuente: <http://www.trolebus.gob.ec>)

La Trocal Central Trolebús hasta el año 2015, estaba compuesta por una flota de 90 trolebuses articulados marca Mercedes Benz con motor eléctrico y un motor auxiliar a Diésel, circulando desde la Estación Norte en la Y hasta la Estación Sur en Quitumbe, más una flota de buses articulados circulando desde el terminal interprovincial de Carcelén al norte hasta la Estación del Recreo al Sur. En el año 2016 se integraron 80 buses biarticulados marca Volvo, al SMT con el fin de sustituir unidades viejas de trolebuses e incrementar la cobertura del servicio de transporte público de pasajeros. Aunque este tipo de buses no es considerado en el diagnóstico del año base (2015), si será tomado en cuenta en la prospectiva como una de las medidas de eficiencia energética en el transporte.

La actual Troncal Oriental Ecovía, hasta el año 2015 se la consideraba dividida en 2 trocales: La Ecovía Norte, circulando desde la estación de la Rio Coca hasta el Playón de la Marín y el Corredor Sur Oriental, circulando desde el Playón de la Marín hasta la Estación Quitumbe. Por esta razón la información estadística de la EPMTTP respecto al número de kilómetros recorridos y al número de pasajeros transportados, consultada para el cálculo de la cobertura de servicio y los consumos específicos de combustibles en el año base, se presenta con dicha división (Ver Anexo I).

En la foto de la Figura 2.9, se observa un bus articulado de la trocal Ecovía en la Estación Norte de la Av. Rio Coca.



Figura 2.9. Foto de la Troncal Ecovía

(Fuente: <http://www.trolebus.gob.ec>)

La Trocal Occidental actualmente integra los recorridos entre el terminal de la Ofelia al Norte de Quito hasta el Terminal Quitumbe al Sur. En el año 2015 se consideraba independientemente la ruta entre La Estación de la Ofelia en el centro norte de la ciudad y la estación de Quitumbe al sur como la troncal Sur Occidental. En la foto de la Figura 2.10, se muestra el tipo de buses de la actual troncal occidental del SMT.



Figura 2.10. Foto de la Actual Troncal Occidental

(Fuente: <http://www.trolebus.gob.ec>)

Las líneas alimentadoras del Sistema Metropolitano de Transporte, están integradas por buses convencionales de diferentes cooperativas privadas, que bajo la administración y coordinación de la EPMT, conectan los diferentes barrios y sectores de la ciudad con las

Trocales del SMT, bajo la modalidad de tarifa única. Una foto de este tipo de buses alimentadores se presenta en la Figura 2.11.



Figura 2.11. Foto de los buses alimentadores
(Fuente: <http://www.trolebus.gob.ec>)

Transporte intracantonal

Esta modalidad integra diferentes cooperativas de transporte mayoritariamente de propiedad privada, que en total suman 135 líneas y 2.624 buses urbanos (Secretaría de Movilidad del DMQ, 2016). Un ejemplo del tipo de buses de las rutas intracantonaes se muestra en la fotografía de la Figura 2.12.



Figura 2.12. Foto de los buses intracantonaes convencionales
(Fuente: Secretaria de Movilidad del DMQ.)

Transporte escolar e institucional

Según los registros de la AMT, en el año base circulaban en Quito 5.500 buses y busetas de servicio escolar e institucional, que en su mayoría son vehículos a diésel con cilindrajes entre 2.000 y 3.000 cc.

Taxis

En Quito circularon en el año base 14.136 taxis legales (AMT, 2015), comprendidos en su mayoría en el segmento de vehículos entre los 1.501 y 2.000 cc.

Servicio particular de transporte de pasajeros

En el año base (2015), en la ciudad de Quito, circularon 357.212 vehículos livianos de uso particular (AMT, 2015). Los vehículos de uso particular incluyen automóviles, camionetas, furgonetas y motocicletas. Como se observa en la Figura 2.13, el mayor porcentaje de esto vehículos (83%) corresponde a los automóviles, seguido por las camionetas (9%); mientras que las furgonetas y motocicletas, presentan pequeños porcentajes de 2% y 6% respectivamente. Prácticamente el 100% de los automóviles y motocicletas utilizan como combustible la gasolina y una muy insignificante fracción de las camionetas y furgonetas consumen diésel.

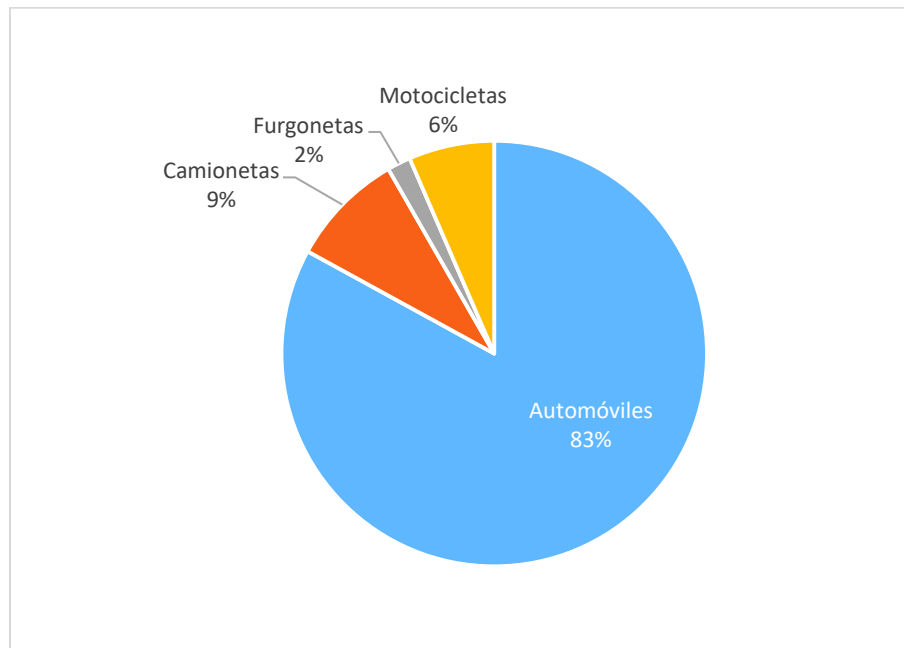


Figura 2.13 Estructura del parque vehicular liviano del DMQ.

(Fuente: Elaboración propia en base a información de la AMT)

Para efecto del presente estudio, el parque vehicular particular, se divide solamente en dos categorías: los automóviles y las motocicletas, quedando inmersos en la primera categoría todo tipo de vehículo motorizado liviano de uso particular de cuatro ruedas.

Como se puede observar en la Figura 2.14, de acuerdo al cilindraje de los motores, la mayor fracción de los vehículos de servicio particular, que circulan en Quito se encuentra en el rango entre los 1.500 y 2.000 cc., con un 42% de participación, siguiéndole el rango de los automóviles más pequeños de entre 1.000 y 1.500 cc. (29%). Es importante tomar nota que solamente un 4% del total de vehículos en Quito sobrepasa el valor los 3.000 cc., rango que corresponde principalmente a vehículos todoterreno de gran envergadura. Entre los automóviles pertenecientes al rango de entre 1.500 y 2.000 cc., está incluido un pequeño número de automóviles híbridos de alrededor de 3.500 unidades.

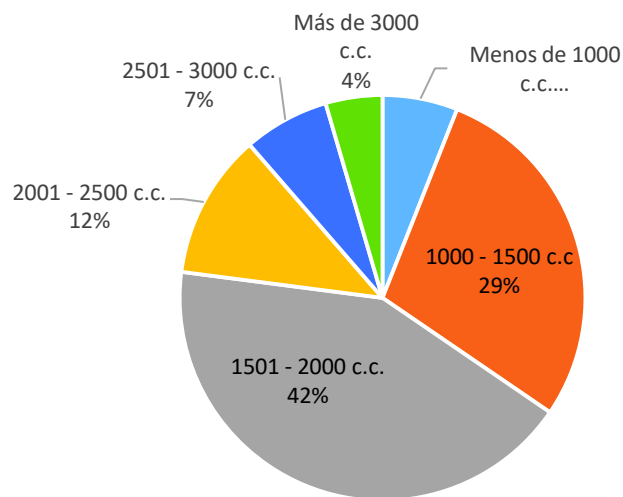


Figura 2.14. Estructura del parque de automóviles de acuerdo al cilindraje
(Fuente: Elaboración propia en base a información de la AMT)

El parque vehicular correspondiente a las camionetas se encuentra principalmente en el rango entre los 2.000 y 2.500 cc., mientras que las furgonetas son en su mayoría vehículos de rango entre los 1.000 y 2.000 cc. Las motos que circulan en Quito tienen cilindrajes principalmente en el rango entre 250 y 500 c.c.

2.5.2. Caracterización de la demanda de transporte de pasajeros

Demanda de transporte público de pasajeros.

Como se mencionó anteriormente, el transporte público de pasajeros en Quito, presenta 4 modalidades principales, El Sistema Metropolitano de Transporte, con sus diferentes líneas troncales y buses alimentadores, Las cooperativas de buses intracantonales, las cooperativas de taxis y las cooperativas de transporte escolar e institucional. Para cada una de estas modalidades de transporte público, es necesario determinar la longitud de los recorridos, el número de pasajeros transportado y el número de viajes realizados, para el período de un año. Con esta información se podrá calcular la demanda de transporte en MPKM, cubierta por cada una de estas modalidades utilizando la siguiente relación matemática:

$$\text{MPKM} = L * P / N / 1.000.000 \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde:

MPKM = demanda anual de transporte de pasajeros (millones de pasajero*km)

L = kilometraje recorrido anualmente

P = Número de pasajeros transportados anualmente

N = Número de recorridos realizados

Sistema Metropolitano de Transporte (SMT).

Para el caso del Sistema Metropolitano de Transporte, La Empresa Publica Metropolitana de Transporte de Pasajeros de Quito (EPMTP), es la encargada de la administración y operación del Sistema. En la página web de la EMPTP (www.trolebus.gob.ec), se encuentra localizada la información del número mensual de pasajeros transportados y el número de kilómetros recorridos de cada una de las líneas troncales y de los sistemas alimentadores a dichas líneas para el año 2015 (Ver Anexo I). En la misma página se puede encontrar también la longitud de los corredores, dato útil para calcular el número de recorridos realizados al año y también el número de pasajeros transportados en cada recorrido. Al disponer del número de kilómetros recorridos al año, el número de pasajeros al año y el número de recorridos, mediante la aplicación de la Ec. 2.3, se pueden calcular la cantidad de PKM cubierta por cada una de las líneas del Sistema Metropolitano de Transporte, para facilidad de manejo de las cifras esta variable estará expresada en millones de PKM (MPKM). Aprovechando la información sobre el número total de pasajeros

transportados al año y el número de recorridos realizados, se puede calcular también la cantidad de pasajeros por recorrido, valor que será de utilidad para el cálculo de los consumos específicos en una sección posterior. En la Tabla 2.6 se presentan los valores de cobertura calculados para las troncales del SMT.

Tabla 2.6. Cobertura de servicio de las líneas troncales del SMT

	Km/año	Pasajeros /año	km /recorrido	Recorridos/año	MPKM/año
<i>Trolebús electricidad</i>	4.389.974	46.186.909	18,5	237.296	854
<i>Trolebús diésel</i>	1.084.569	11.410.750	18,5	58.625	211
<i>Otras troncales SMT</i>	7.799.297	79.997.313	12,17	640.993	973
TOTAL	13.273.839	137.594.972			2.038

(Fuente: elaboración propia en base a información de la EPMT, 2016)

Con el mismo tipo de parámetros usados en el cálculo anterior, se calcula la cobertura de la flota de alimentadores al SMT, cuyos resultados se muestran a continuación en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7. Cobertura de servicio de los alimentadores del SMT

	Km/año	Pasajeros /año	km /recorrido	Recorridos/año	MPKM/año
Alimentadores SMT	36.496.178	99.339.664	12,79	2.853.968	1.270

(Fuente: elaboración propia en base a información de la EPMT, 2016)

Sistema de transporte intracantonal.

Para el cálculo de la cantidad de unidades de servicio (PKM) cubierta por el sistema de cooperativas intracantonales de transporte, se utilizó la información proporcionada por la Secretaría de Movilidad del Municipio de Quito, donde se encuentra la información operativa de las 215 rutas programadas para las 60 cooperativas de transporte intracantonal registradas en dicha Secretaría de Movilidad, de las cuales 47 son de transporte urbano, 11 son de transporte combinado (rural y urbano) y 2 de transporte intracantonal rural.

Cada una de las mencionadas rutas posee una ficha de planificación operativa, donde se encuentran registrados los datos de la empresa operadora, origen y destino de la ruta, recorrido en ambos sentidos y un plan de operación que incluye para cada día de la semana la flota autorizada, el horario de operación, el intervalo de despacho de las unidades, la frecuencia en las paradas, el tiempo de duración del recorrido y la distancia de cada vuelta

en km. Con esta información fue posible calcular el número de kilómetros recorridos y el número de trayectos diarios y por lo tanto también los valores anuales, mediante la siguiente expresión matemática:

$$LT = LV * F * H * 365 \qquad \text{Ec. 2.4}$$

Donde:

LT = recorrido total anual (km)

LV = longitud de una vuelta de cada ruta (km)

F = Frecuencia media diaria de buses en cada ruta (vehículos/hora)

H = Número de horas de la jornada diaria de cada ruta

Los valores calculados para las cooperativas de transporte intracantonal urbano, combinado y rural, se los puede observar a detalle en el Anexo II. La suma total de estos valores arrojan como resultado para los kilómetros recorridos al año el valor de 315,2 millones mientras que, para el número de recorridos, 18,3 millones. En la Tabla 2.8, se presenta de manera resumida dichos valores.

Tabla 2.8. Kilometraje y recorridos diarios del transporte intracantonal integral

Tipo de ruta	km/día	Recorridos/día
Intracantonal Urbano	681.186	43.666
Intracantonal Combinado	175.903	5.750
Intracantonal Rural	6.599	764
Total intracantonal diario	863.688	50.180
Total Intracantonal anual (km)	315.245.945	18.315.700

(Fuente: Elaboración en base a información proporcionada por la Secretaría de Movilidad del DMQ.)

Dentro del registro de cooperativas de transporte público intracantonal, reportado por la Secretaría de Movilidad, se encuentran también aquellas que prestan servicio al sistema de alimentadores del SMT (Tabla 2.7), por lo que las cantidades que quedan para el sistema de transporte intracantonal convencional son 278,7 millones de kilómetros al año y 15,7 millones de recorridos al año.

Por otra parte, la Secretaría de Movilidad de Quito indica un promedio de 2,23 millones de pasajeros transportados diariamente, en lo que se refiere al transporte público en buses, lo que representan 814 millones de pasajeros al año, sin embargo este valor incluye

también los viajes realizados en el SMT, que alcanza en total los 236.9 millones de pasajeros al año, sumando las líneas troncales y los alimentadores (ver tablas 3.1 y 3.2), quedando como saldo para el sistema de transporte intracantonal convencional, 577,2 millones de pasajeros al año, lo que representa el 71% del total reportado por la Secretaría de Movilidad.

Con esta información y aplicando la Ec. 2.4 se obtiene la cantidad de PKM cubierta por el sistema de transporte intracantonal de pasajeros, cuyo resultado se observa en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9. Cobertura del Sistema de transporte intracantonal de pasajeros

	<i>km/año</i>	<i>Pasajeros / año</i>	<i>km / recorrido</i>	<i>Recorridos / año</i>	<i>MPKM /año</i>	<i>Pasajeros / recorrido</i>
<i>Buses intracantonaes</i>	278.749.767	577.228.493	18	15.679.823	10.262	36,8

(Fuente: elaboración propia en base a información de la Secretaría de Movilidad del DMQ)

Transporte escolar e institucional

Respecto al transporte escolar e institucional, la Secretaría de Movilidad reporta 398.474 pasajeros transportados diariamente, lo que multiplicado por los 260 días laborables al año significan 103,6 millones de pasajeros anuales. Si bien no se encontró información oficial sobre los kilómetros recorridos al año por las cooperativas de este tipo de transporte, se conoce el número de unidades registradas en Quito y el kilometraje anual, estimado en base a una indagación directa a algunos conductores de estos vehículos.

En la Tabla 2.10, se detalla la estimación de los MPKM cubiertos por el transporte escolar e institucional.

Tabla 2.10. Cobertura del transporte escolar e institucional

<i>Modalidad</i>	<i>Km/año</i>	<i>Pasajeros / año</i>	<i>Km / recorrido</i>	<i>Recorridos / año</i>	<i>MPKM/año</i>	<i>Pasajeros / recorrido</i>
<i>Escolar e institucional</i>	65.520.000	103.603.240	12	5.460.000	1.243	19,0

(Fuente: Elaboración propia en base a información de la Secretaría de Movilidad del DMQ)

Transporte en taxis

Respecto al transporte en taxis, se conoce el número de unidades registradas en Quito, el factor de ocupación media, de 1,05 pasajeros (Secretaría de movilidad del DMQ, 2014) y el kilometraje medio anual recorrido por cada unidad. Con esta información y aplicando la ecuación Ec. 2.5, se obtuvo la cantidad de MPKM indicada en la Tabla 2.11.

$$MPKM = N * Ra * Fo / 1.000.000 \quad \text{Ec. 2.5}$$

Donde:

MPKM = Millones de pasajeros*kilómetro por año

Nv = Número de vehículos

Ra = Recorrido medio anual (km)

Fo = Factor de ocupación medio de los taxis (número de pasajeros sin incluir al chofer)

Tabla 2.11. Cobertura de servicio de las cooperativas de taxis

<i>Modalidad</i>	<i>Número de vehículos</i>	<i>Km / año</i>	<i>Factor de ocupación</i>	<i>MPKM / año</i>
<i>Taxis</i>	14.136	80.300	1,05	1.192

(Fuente: Elaboración propia en base a información de la Secretaría de Movilidad del DMQ.)

Demanda de transporte particular de pasajeros.

La información disponible para el cálculo de la demanda de transporte particular de pasajeros, consiste en el número de vehículos de servicio particular, el recorrido medio anual de estos vehículos en la ciudad de Quito y el factor de ocupación. Para el efecto, se hace un cálculo separado entre automóviles y las motocicletas, dadas las diferencias en sus parámetros.

Automóviles

Se estima que un auto particular en Quito circula entre 20.000 y 30.000 km al año (CONSULVIAL, 2013), por lo que se tomó el valor medio de 25.000. También se conoce que el factor de ocupación de los autos privados en Quito es actualmente de 1,2 (AMT, 2014). En la Tabla 2.12, se indican los resultados obtenidos del producto de las mencionadas variables, aplicando la misma ecuación utilizada para los taxis (Ec. 2.5)., con la diferencia que, en este caso, el factor de ocupación si incluye al conductor.

Tabla 2.12. Cobertura de servicio de los automóviles particulares

	Número de vehículos	Km / año	Factor de ocupación	MPKM / año
Automóviles particulares	335.779	25.000	1,2	10.073

(Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por la AMT)

Motocicletas

En Quito circulan alrededor de 23.250 motos, recorren un promedio de 20.000 km al año y su factor de ocupación medio es de un pasajero. Con estos datos y aplicando la ecuación Ec. 2.5, se calcula una cobertura anual de 429 MPKM, como se observa en la Tabla 2.13.

Tabla 2.13. Cobertura de servicio de las motocicletas

	Número de vehículos	Km / año	Factor de ocupación	MPKM / año
Motocicletas	21.433	20.000	1,0	429

(Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por la AMT)

Resumen de la demanda de transporte de pasajeros por modalidades

A partir del número de unidades de servicio calculadas para cada modalidad o medio de transporte, se obtiene la demanda total de transporte de pasajeros en Quito que suma la cantidad 26.508 MPKM, distribuida como se indica en la Tabla 2.14.

Tabla 2.14. Demanda total de transporte de pasajeros en Quito

Modalidad de transporte	MPKM
Troncal Trolebús Electricidad	854
Trocal Trolebús Diesel	211
Otras troncales SMT	973
Buses alimentadores	1270
Buses intracantoniales	10.262
Escolar e institucional	1.243
Taxis	1.192
Autos particulares	10.073
Motocicletas	429
TOTAL	26.508

(Fuente: elaboración propia en base a diferentes fuentes de información del DMQ)

Esta misma distribución de la demanda de transporte de pasajeros en el DMQ, se la puede apreciar de manera gráfica en la Figura 2.15.

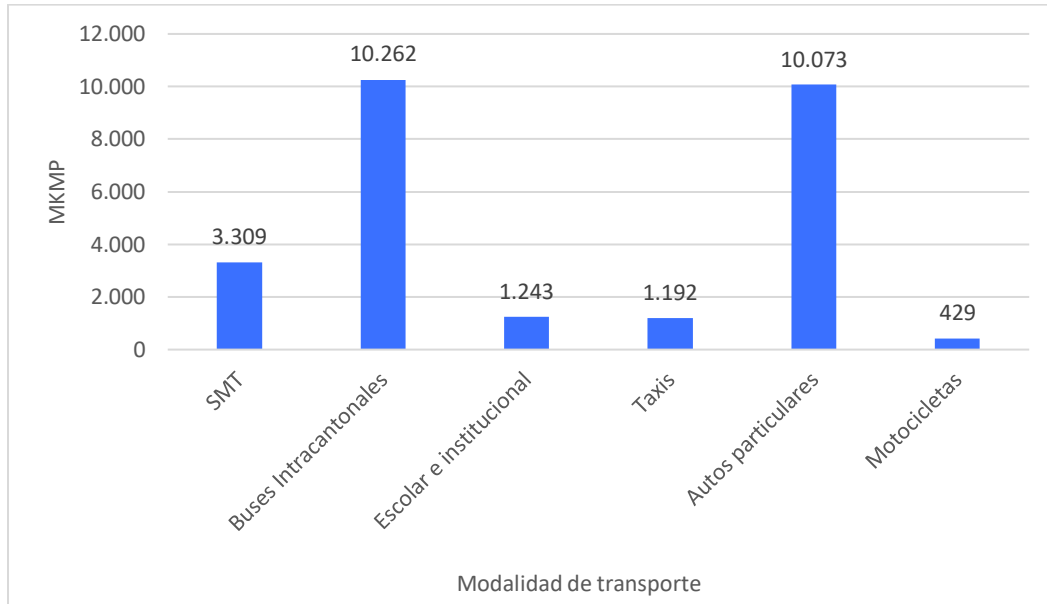


Figura 2.15. Demanda total de transporte de pasajeros de Quito
(Fuente: elaboración propia)

Porcentualmente se observa que la mayor fracción de la demanda de transporte de pasajeros (39%) es cubierta por los buses intracantoniales, seguida de cerca por el parque de autos particulares (38%). Entre tanto el Sistema Metropolitano de Quito, sumadas las líneas troncales y los buses alimentadores, cubren el 12%. El 11% restante se reparte entre taxis, los buses escolares e institucionales y las motocicletas. En el gráfico de la Figura 2.16, se puede observar dicha estructura porcentual.

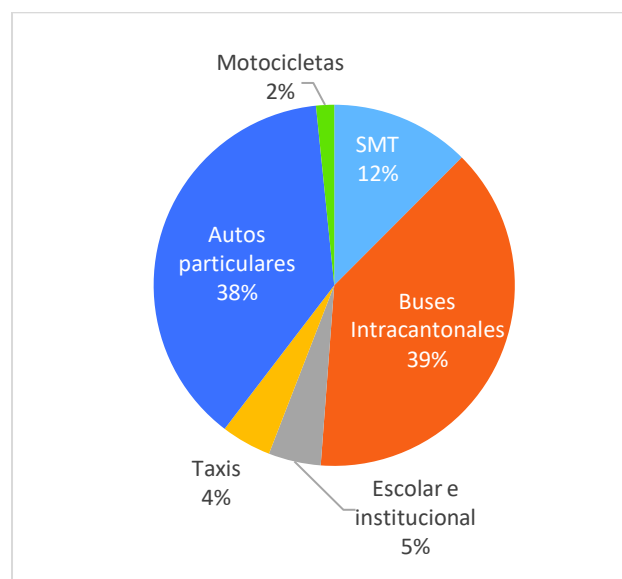


Figura 2.16. Estructura de la demanda de transporte de pasajeros, año base
(Fuente: elaboración propia)

2.5.3. Consumo específico de energía por modalidad de transporte en el año base

Una vez definida la demanda del servicio de transporte de pasajeros en términos de la variable asociada (MPKM), es necesario traducir dicha demanda a unidades energéticas. Para tal efecto, se debe determinar el consumo específico de combustible o electricidad de cada medio de transporte expresado en unidades de volumen de combustible o energía eléctrica por cada MPKM.

Consumo específico del transporte público de pasajeros

Sistema Metropolitano de Transporte

Para el cálculo del consumo específico de combustible del Sistema Metropolitano de Transporte, se utilizó la información proporcionada por la Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Quito (EPMTP), relacionada con el consumo de diésel de cada una de las líneas de BRT (Anexo I).

En el caso del trolebús, se dispuso de la información del kilometraje anual recorrido durante los últimos 5 años con electricidad y con diésel, la energía eléctrica consumida en kWh y la cantidad de galones de diésel consumida para el mismo período. Para las otras líneas troncales se contó de igual manera con los consumos anuales de diésel y los kilómetros recorridos. Con esta información se pudo calcular un consumo específico promedio en kWh/km para el recorrido eléctrico del trolebús y gal/km para los recorridos con uso de diésel en cada una de las líneas troncales. Dividiendo el consumo específico por kilómetro para la ocupación media de cada línea troncal, calculada en la sesión 2.2, se obtuvieron los consumos específicos indicados en las Tabla 2.15 y Tabla 2.16.

Tabla 2.15. Consumo específico para el trolebús con electricidad

	kWh/km	Pasajeros/ recorrido	kWh/PKM	MWh/MPKM
Trolebús con electricidad	1,7	194,6	0,0087	8,73

(Fuente: elaboración propia a partir de información de la EPMTP)

Tabla 2.16. Consumo específico para las troncales BRT con diésel

	gal/km	Pasajeros/ recorrido	gal/PKM	m ³ /MPKM
Trolebús con diésel	0,21	194,6	0,0011	4,08
Otras trocales	0,18	92,3	0,0020	7,46

(Fuente: elaboración propia a partir de información de la EPMTTP)

Debido a que, para los buses alimentadores, no estaba disponible la información oficial de consumos de diésel, se tomó como referencia el valor de consumo específico de 16,6 MJ/km para un bus a diésel Euro III (Kate Blumberg, ICCT, 2016), que según la EPMTTP, corresponde a dichos vehículos. Otra referencia, indica que un motor pierde en promedio 4% de su eficiencia al pasar de 0 a 3.000 metros de altura sobre el nivel del mar (La Puerta, 2004), y al estar la ciudad de Quito muy cerca de esa altura, se lo tomó como un factor válido para corregir el consumo específico del bus Euro III. El consumo específico corregido por la altura, se lo asumió constante para todas las líneas de buses alimentadores, obteniéndose los resultados indicados en la Tabla 2.17. Como poder calorífico del diésel se tomó el valor recomendado en el Manual de Estadísticas Energéticas de OLADE, cuya tabla de equivalencias se muestra entre unidades de volumen y unidades de energía, se presenta en el anexo IV.

Tabla 2.17. Consumo específico para los buses alimentadores del SMT

	MJ/km	Factor de altura	MJ/km en Quito	Poder calorífico del diésel MJ/m ³	m ³ / km	Pasajeros / recorrido	m ³ / MPKM
Alimentadores	16,6	1,04	17,26	36.545	0,00047	60,0	7,87

(Fuente: elaboración propia a partir de información de la EPMTTP)

Transporte intracantonal.

De acuerdo a la Secretaría de Movilidad del Distrito Metropolitano de Quito, un bus convencional de transporte público intracantonal rinde en promedio 7,9 km por cada galón de diésel, lo que significa un consumo específico de 0,13 gal/km. Con este parámetro y el número de pasajeros por recorrido calculado en la sección 2.2, se obtiene el consumo específico por MPKM, que se indica en la Tabla 2.18

Tabla 2.18. Consumo específico para los buses intracantoniales convencionales

	gal/km	Pasajeros / recorrido	gal/PKM	m ³ /MPKM
Buses intracantoniales	0,13	36,8	0,0035	13,37

(Fuente: elaboración propia a partir de información de la EPMT)

Transporte escolar e institucional

Los vehículos de transporte escolar e institucional que circulan en Quito, son de diferentes tamaños y capacidades que van desde furgonetas de 17 pasajeros, hasta buses de 26 o más pasajeros. El consumo específico por distancia recorrida es aproximadamente de 12 L/100 km y se considera para el cálculo una ocupación media de 19 pasajeros por recorrido. En la Tabla 2.19, se observa el resultado obtenido para el consumo específico de diésel del transporte escolar e institucional.

Tabla 2.19. Consumo específico de diésel para el transporte escolar e institucional

	L/100 km	Pasajeros / recorrido	L / 100 PKM	m ³ /MPKM
Escolar e institucional	12,0	19	0,63	6,3

(Fuente: elaboración propia)

Taxis

Para el caso de los taxis se tomó como referencia el consumo específico por distancia recorrida de un automóvil de entre 1.500 y 1.600 c.c., al que corresponden la mayoría de los taxis que circulan en Quito y el factor de ocupación de los taxis en Quito que se estima en 1.05 pasajeros sin contar al chofer (Narváez, 2014). El consumo específico de gasolina calculado para los taxis se indica en la Tabla 2.20.

Tabla 2.20. Consumo específico de gasolina de los taxis

	L/100 km	Pasajeros / recorrido	L / 100 PKM	m ³ /MPKM
Taxis	8,5	1,05	8,1	81

(Fuente: elaboración propia)

Consumo específico del transporte particular de pasajeros

Automóviles

Para determinar los consumos específicos de los autos particulares, se consultaron fichas técnicas de las marcas y modelos de automóviles más comunes en Quito, obteniéndose. Con estos datos, se elaboró un gráfico de dispersión con su respectiva función de tendencia, el cual se observa en la Figura 2.17.

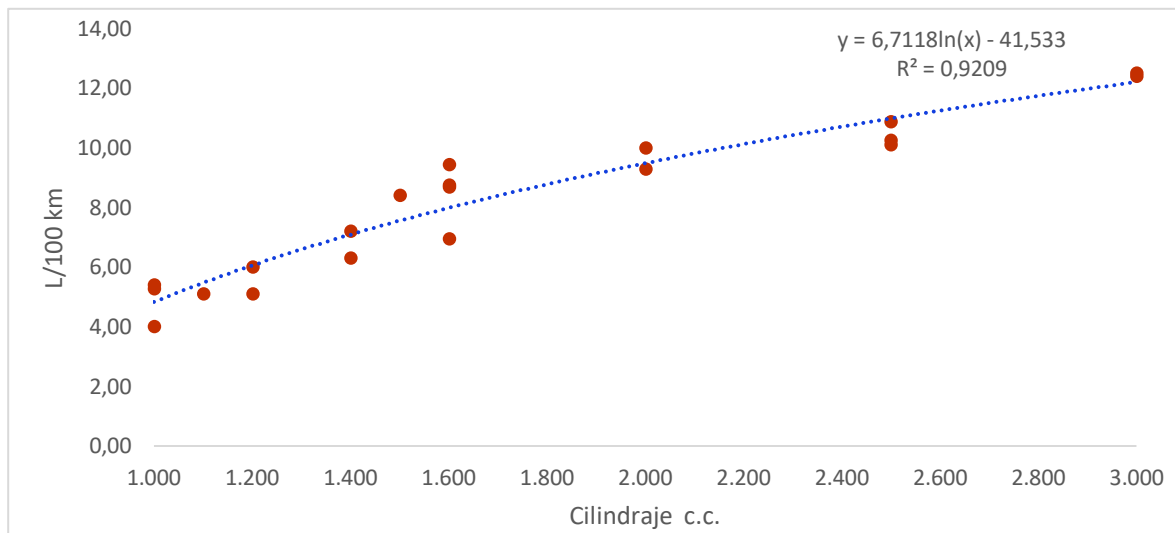


Figura 2.17. Gráfico de dispersión del consumo específico vs. cilindraje, para autos particulares
(Fuente: elaboración propia)

Con la función de tendencia del gráfico de dispersión de los consumos específicos (Ec. 3), se procedió a calcular un consumo específico en L/100 km para los valores medios de cada rango de cilindrajes; y conociendo el factor de ocupación de los automóviles particulares en Quito, se tradujo dichos resultados al consumo específico de gasolina en términos de $m^3/MPKM$, como se observa en la Tabla 2.21.

$$Y = 6,71 * \ln(X) - 41,53 \quad \text{Ec. 2.6}$$

Donde:

Y = consumo específico de gasolina L/100 km

X = cilindraje del automóvil (cm^3)

Tabla 2.21. Consumos específicos de gasolina de los automóviles particulares

Rango de cilindraje	Valor medio C.C.	L/100 km	Factor de Ocupación	L/100 PKM	Factor por altura	m3/MPKM
1.000-1.500 cc.	1.250	6,33	1,2	5,3	1,04	54,84
1.501-2.000 cc.	1.750	8,59	1,2	7,2	1,04	74,42
2.001-2.500 cc.	2.250	10,27	1,2	8,6	1,04	89,04
2.501-3.000 cc.	2.750	11,62	1,2	9,7	1,04	100,71
Más de 3.000 cc.	3.250	12,74	1,2	10,6	1,04	110,43

(Fuente: elaboración propia)

Autos híbridos

Para el caso de los autos híbridos se tomó para el cálculo el rendimiento promedio del Toyota Prius C (26 km/l) y el factor de ocupación de 1,2, lo que arroja un resultado de 33,38 m³ de gasolina/MPKM.

Motocicletas

Para el cálculo del consumo específico de las motocicletas se tomó como referencia el valor de 4,1 L /100 km (EMSD, 2017). Con un factor de ocupación de un pasajero y una corrección por altura del 4%, se obtuvo como resultado la cantidad de 42,6 m³/MPKM.

Consumo específico en unidades de energía.

Los consumos específicos, para la electricidad, el diésel y la gasolina en TJ/MPKM se presentan la Tabla 2.22, de acuerdo a los factores de conversión de unidades calculados en las siguientes expresiones:

$$\text{Electricidad} \quad \frac{MWh}{MPKM} * \frac{TJ}{278,9MWh} = 0,0036 \frac{TJ}{MPKM}$$

$$\text{Diésel} \quad \frac{m^3}{MPKM} * \frac{6,29 bbl}{m^3} * \frac{1 bep}{1 bbl} * \frac{1 TJ}{172,2 bep} = 0,0365 \frac{TJ}{MPKM}$$

$$\text{Gasolina} \quad \frac{m^3}{MPKM} * \frac{6,29 bbl}{m^3} * \frac{0,8934 bep}{1 bbl} * \frac{1 TJ}{172,2 bep} = 0,0326 \frac{TJ}{MPKM}$$

Tabla 2.22. Consumos específicos en unidades de energía (TJ/MPKM)

	Combustible	Consumo específico	Unidad	Factor conversión	TJ/MPKM
Trolebús con electricidad	Electricidad	8,73	MWh/MKMP	0,0036	0,03
Trolebús con diésel	Diésel	4,08	m ³ /MKMP	0,0365	0,15
Otras troncales SMT	Diésel	7,46	m ³ /MKMP	0,0365	0,27
Alimentadores SMT	Diésel	7,87	m ³ /MKMP	0,0365	0,29
Buses intracantonales	Diésel	13,37	m ³ /MKMP	0,0365	0,49
Escolar e institucional	Diésel	7,22	m ³ /MKMP	0,0365	0,26
Taxis	Gasolina	85,05	m ³ /MKMP	0,0326	2,77
Particulares 1.000-1.500 cc.	Gasolina	54,84	m ³ /MKMP	0,0326	1,79
Particulares 1.501-2.000 cc.	Gasolina	74,42	m ³ /MKMP	0,0326	2,43
Particulares 2.001-2.500 cc.	Gasolina	89,04	m ³ /MKMP	0,0326	2,90
Particulares 2.501-3.000 cc.	Gasolina	100,71	m ³ /MKMP	0,0326	3,28
Particulares más de 3.000 cc.	Gasolina	110,43	m ³ /MKMP	0,0326	3,60
Automóviles híbridos	Gasolina	33,38	m ³ /MKMP	0,0326	1,09
Motocicletas	Gasolina	42,60	m ³ /MKMP	0,0326	1,39

(Fuente: elaboración propia)

Las equivalencias entre unidades energéticas y de volumen fueron tomados del Manual de Estadísticas Energéticas de OLADE que se presentan en el Anexo IV. Estos consumos específicos se los puede apreciar de manera gráfica en la Figura 2.18.

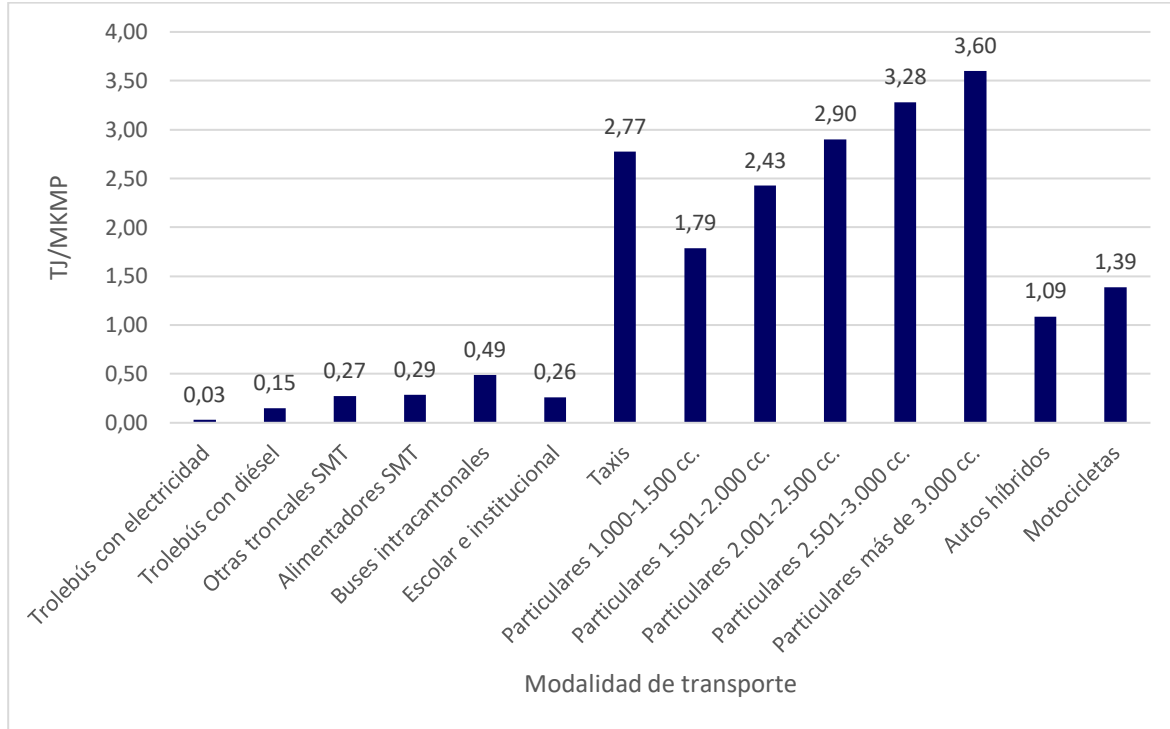


Figura 2.18. Consumos específicos en unidades de energía

(Fuente: elaboración propia)

Como se observa en la tabla y figura anterior, el medio de transporte que resulta con mejor desempeño respecto al transporte de pasajeros es el sistema troncal del trolebús con uso de electricidad, identificándose ya a partir de este punto el beneficio del uso de la electricidad en el transporte. Además, es evidente la diferencia entre los desempeños del transporte de pasajeros mediante buses de transporte público y mediante automóviles de uso particular, teniendo estos últimos relativamente altos consumos específicos de energía. Cabe también destacar que los taxis, pese a ser medios de transporte público son menos eficientes que los automóviles particulares del mismo rango de cilindraje. Esto se debe al menor factor de ocupación que poseen. Los autos híbridos, resultan ser casi el doble de eficientes que los autos convencionales de similar cilindraje. Se puede observar también que las motocicletas son menos eficientes que los autos híbridos, pero más eficientes que los autos particulares de todos los rangos de cilindraje.

2.5.4. Consumo total de energía en el año base

Cálculo del consumo de energía

Con la información de los MPKM cubiertos por cada uno de los medios de transporte y sus respectivos consumos específicos en términos de energía, se procede a calcular el

consumo total de energía del parque vehicular de transporte de pasajeros en la ciudad de Quito y su desagregación por tipo de combustible o fuente de energía (diésel, gasolina y electricidad). Al disponerse del balance energético a nivel nacional del año 2015 y la desagregación del despacho de combustibles por provincias como parte del balance energético del año 2014, se puede determinar si los resultados obtenidos del análisis realizado en este estudio, son coherentes. En la Tabla 2.23, se indican los valores calculados de consumo energético total de cada una de las modalidades de transporte de pasajeros en el DMQ.

De forma gráfica, los consumos totales de energía en el año base, para el transporte de pasajeros en el DMQ, se pueden apreciar en la Figura 2.19.

Tabla 2.23. Consumo total de energía en el año base

	Combustible	Consumo específico (TJ/MKMP)	Cobertura (MKMP)	Consumo energético (TJ)
Trolebús con electricidad	Electricidad	0,0314	854	27
Trolebús con diésel	Diésel	0,1491	211	31
Otras troncales SMT	Diésel	0,2724	973	265
Alimentadores SMT	Diésel	0,2874	1.270	365
Buses intracantoniales	Diésel	0,4880	10.262	5.008
Escolar e institucional	Diésel	0,2636	1.243	328
Taxis	Gasolina	2,7725	1.192	3.305
Particulares 1.000-1.500 cc.	Gasolina	1,7879	3.059	5.469
Particulares 1.501-2.000 cc.	Gasolina	2,4260	4.451	10.797
Particulares 2.001-2.500 cc.	Gasolina	2,9025	1.240	3.600
Particulares 2.501-3.000 cc.	Gasolina	3,2831	734	2.409
Particulares más de 3.000 cc.	Gasolina	3,5999	485	1.747
Automóviles híbridos	Gasolina	1,0882	105	114
Motocicletas	Gasolina	1,3888	429	595
TOTAL			26.508	34.060

(Fuente: elaboración propia)

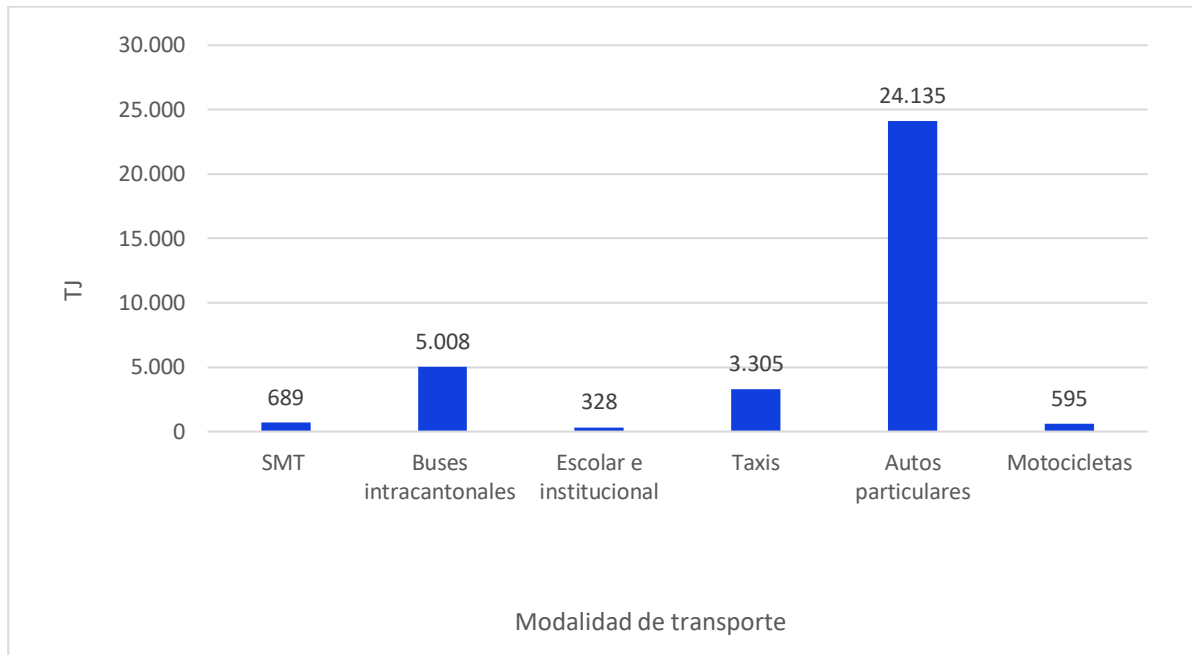


Figura 2.19. Consumo de energía, en el año base
(Fuente: elaboración propia)

Observando la estructura del consumo de energía por sistemas de transporte de pasajeros, se destaca la alta participación del parque vehicular particular (automóviles y motocicletas) en dicho consumo, ocupando casi las tres cuartas partes del total, como se observa en la Figura 2.20.

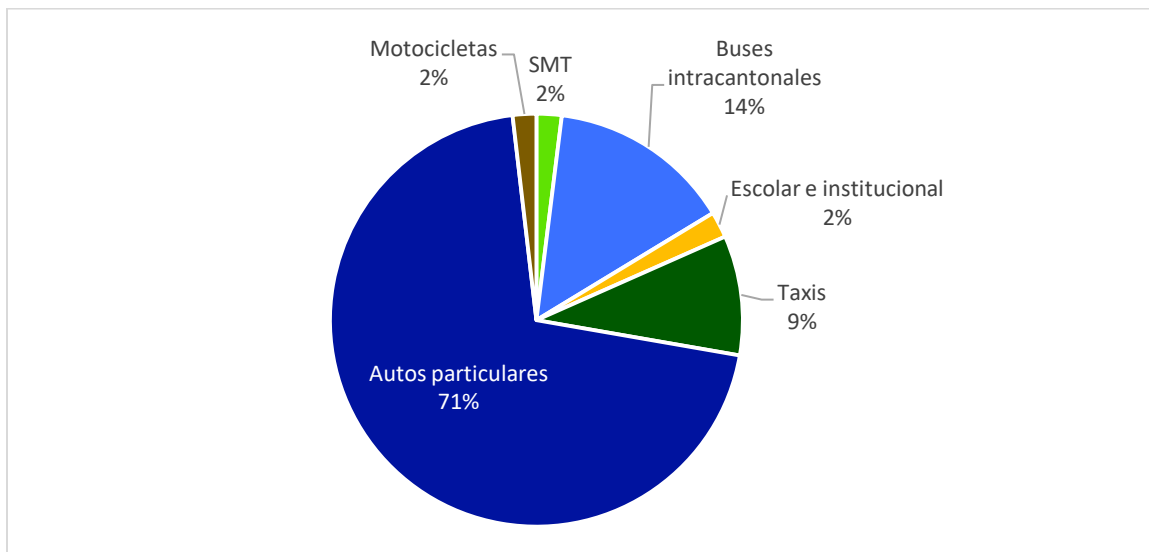


Figura 2.20. Estructura del consumo de energía por modalidad de transporte
(Fuente: elaboración propia)

En concordancia con la figura anterior (Figura 2.20), donde la mayor fracción en el consumo de energía corresponde a los vehículos de servicio particular, los cuales consumen casi exclusivamente gasolina, se observa en la Figura 2.21, que la mayor fracción de la estructura del consumo de energía por fuente, la ocupa la gasolina con un 83%. La participación de la electricidad es prácticamente despreciable en el año base, por lo que el diésel complementa la matriz con un 17%.

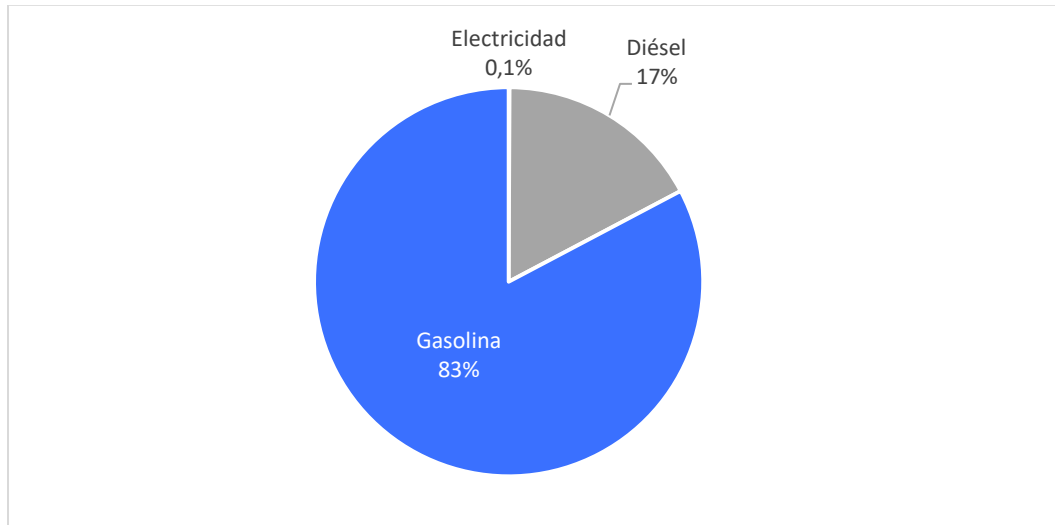


Figura 2.21. Estructura del consumo de energía por combustible
(Fuente: elaboración propia)

2.6. Proyección de la demanda del servicio de transporte de pasajeros

La estimación del crecimiento en la demanda de transporte de pasajeros en una metrópoli como Quito, puede ser una tarea muy compleja, ya que involucra una gran cantidad de variables, demográficas, económicas, sociales y hasta culturales, para la cual sería necesario realizar costosas encuestas y ejecutar sofisticados modelos estadísticos. Sin embargo, como parte de los estudios de factibilidad del proyecto Metro de Quito, ya sea han realizado estudios sobre este tema. Por tal motivo, para efecto del presente trabajo, se aprovechó como referencia, las proyecciones incluidas en el estudio realizado por la empresa consultora MGM Innova en el año 2014, como asistencia técnica al Municipio del

Distrito Metropolitano de Quito, titulado “NAMA⁵ sobre Movilidad Urbana en Quito, Ecuador”. En dicho estudio se realizaron proyecciones del número de viajes requerido en el sistema de transporte de pasajeros de Quito para el período 2009-2025, donde se consideró para un escenario tendencial una tasa promedio de crecimiento anual para el número de viajes en vehículos de transporte público de 1,5% y en vehículos de transporte privado de 2,5% (MGM Innova, 2014).

Asumiendo que las distancias medias recorridas por los pasajeros, en las diferentes modalidades de transporte, no sufrirían variaciones importantes en el período de estudio se consideró que la demanda de transporte de pasajeros en Quito en términos de la variable extensiva MPKM, crecerá con las mismas tasas anuales que los números de viajes en transporte público y particular para el período 2015 -2035. A partir de los datos de demanda de MPKM del año base y aplicando las mencionadas tasas de crecimiento, se obtiene la proyección que se observa en la Tabla 2.24 y en la Figura 2.22.

Dado que la eficiencia energética, aplicada al sector transporte, consiste en satisfacer los mismos niveles de servicio, con menor gasto de energía, la demanda total proyectada de dicho servicio, se considera la misma para todos los escenarios prospectivos desarrollados en el presente estudio.

Tabla 2.24. Proyección de la demanda de transporte de pasajeros en el DMQ (MPKM).

	2015	2020	2025	2030	2035	t.p.a
Servicio público	16.006	17.243	18.576	20.011	21.558	1,5%
Servicio particular	10.484	11.862	13.420	15.184	17.179	2,5%
TOTAL	26.490	29.105	31.996	35.195	38.737	1,9%

(Fuente: elaboración propia con información de MGM Innova, 2014)

⁵ NAMA son las siglas en inglés de “Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación” que constituyen iniciativas nacionales y soberanas de mitigación del Cambio Climático.

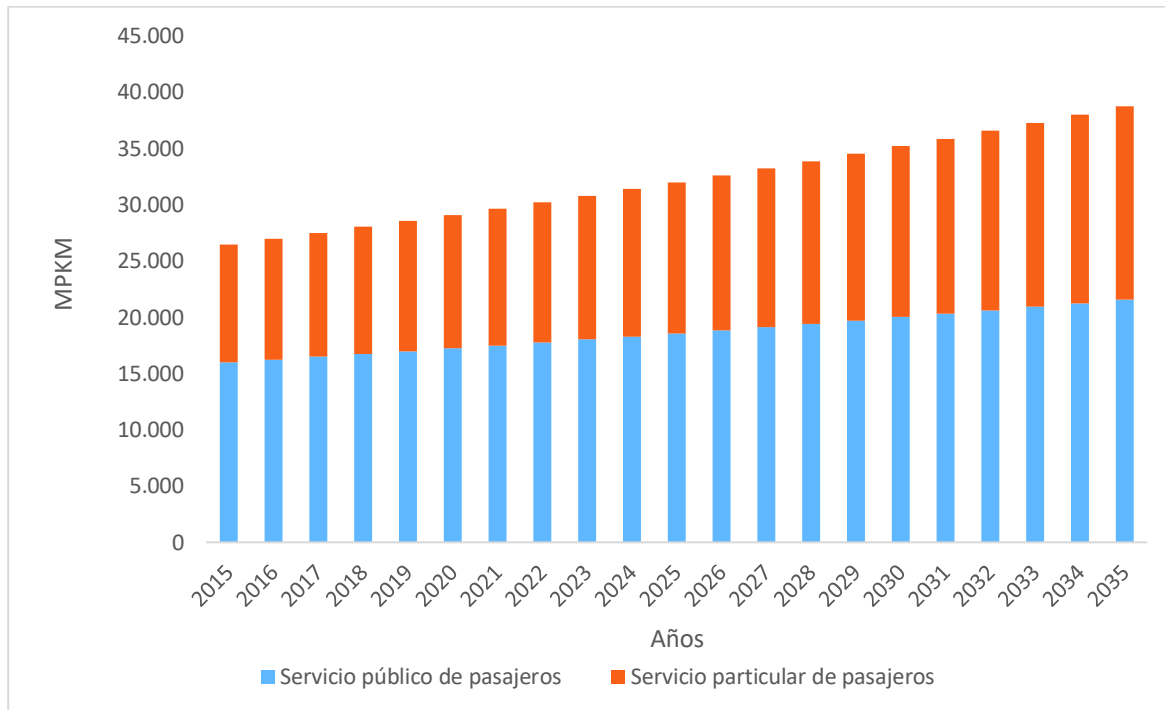


Figura 2.22. Proyección de la demanda de transporte de pasajeros en el DMQ, por tipo de servicio
(Fuente: elaboración propia con información de MGM Innova, 2014)

2.7. Construcción del escenario tendencial de línea base (BAU).

2.7.1. Consideraciones generales

Como su nombre lo indica, un escenario tendencial de prospectiva es aquel que mantiene, los patrones o tendencias históricas de comportamiento de las variables proyectadas. Para el tema que compete al presente estudio, la premisa fundamental de dicho escenario es que si bien la demanda total del servicio de transporte de pasajeros en el DMQ, se irá incrementado en el tiempo, impulsada principalmente por el crecimiento de la población en la ciudad, la estructura de la oferta de transporte, respecto a la participación porcentual de cada modalidad, para cubrir dicha demanda, se mantendrá constante.

2.7.2. Proyección de la cobertura de transporte por modalidad en el escenario BAU

Si bien en el año base, ya se encontraba contemplado en el plan de movilidad del DMQ, la construcción y entrada en operación de sistemas modernos de transporte de pasajeros como el Metro de Quito, buses biarticulados y el sistema de teleféricos urbanos, así como la penetración de autos eléctricos; estas modalidades no son tomadas en cuenta para el escenario BAU, precisamente para poder evaluar luego, mediante su inclusión en los

escenarios alternativos, los beneficios en términos energéticos, ambientales y económicos de dichas modalidades.

De manera numérica, la proyección de la demanda de transporte de pasajeros en el DMQ, para el escenario BAU, con su respectiva tasa promedio de crecimiento anual (t.p.a.) se puede apreciar en la Tabla 2.25 y en la Figura 2.23.

Tabla 2.25. Proyección de la demanda de transporte, escenario BAU (MPKM)

Modalidad	2015	2020	2025	2030	2035	t.p.a.
SMT	3.309	3.565	3.841	4.137	4.457	1,5%
Intracantonal	10.262	11.055	11.909	12.830	13.821	1,5%
Escolar e institucional	1.243	1.339	1.443	1.554	1.674	1,5%
Taxis	1.192	1.284	1.383	1.490	1.605	1,5%
Autos particulares	10.019	11.335	12.825	14.510	16.417	2,5%
Motocicletas	465	526	595	673	762	2,5%
TOTAL	26.490	29.105	31.996	35.195	38.737	1,9%

(Fuente: elaboración propia)

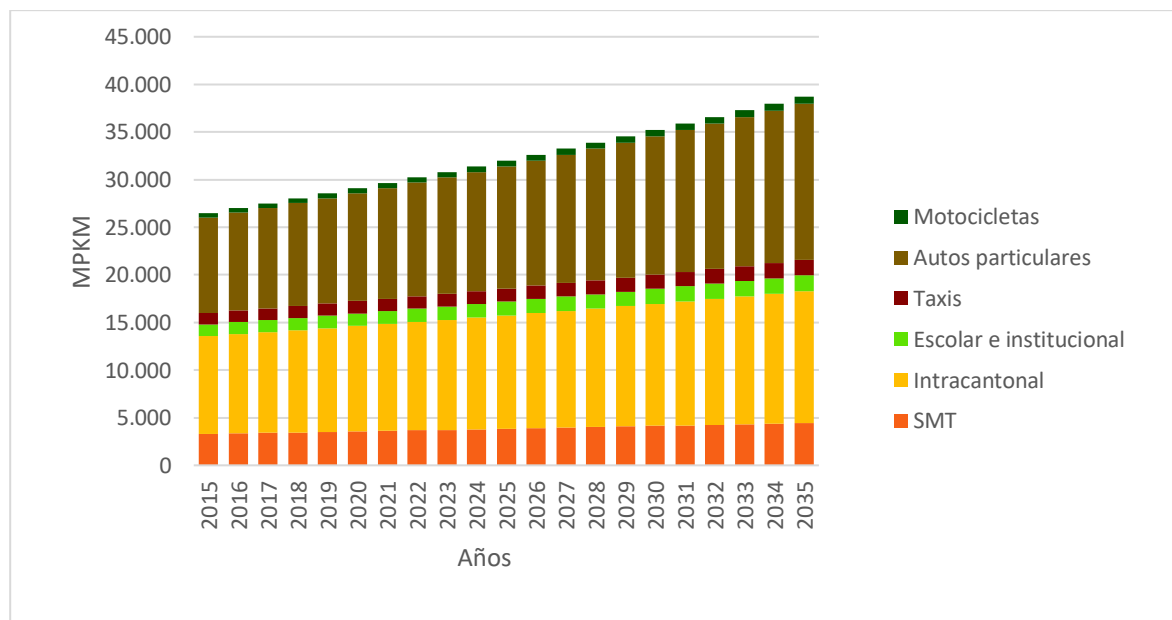


Figura 2.23. Cobertura del transporte por modalidad, escenario BAU

(Fuente: elaboración propia)

2.7.3. Proyección del consumo de energía para el escenario BAU

Asumiendo constantes los consumos específicos por MPKM, se obtiene la proyección del consumo de energía por cada modalidad de transporte para el período de la prospectiva.

Como se observa en la Tabla 2.26 y en la Figura 2.24, el transporte de pasajeros mediante autos particulares, gana participación respecto al total, debido a su mayor tasa de crecimiento anual en comparación del transporte público. El consumo total de energía del transporte de pasajeros de Quito, crece con una tasa promedio anual del 2,2%. Cabe destacar el bajo consumo relativo que presenta el SMT frente al intracantonal y al transporte particular.

Tabla 2.26. Proyección del consumo de energía, escenario BAU (TJ)

	2015	2020	2025	2030	2035	t.p.a.
SMT	689	742	799	861	927	1,5%
Intracantonal	5.008	5.395	5.812	6.261	6.745	1,5%
Escolar e institucional	328	353	380	410	441	1,5%
Taxis	3.305	3.560	3.835	4.131	4.451	1,5%
Autos particulares	24.004	27.158	30.727	34.765	39.333	2,5%
Motocicletas	646	731	827	935	1.058	2,5%
TOTAL	33.979	37.939	42.380	47.364	52.956	2,2%

(Fuente: elaboración propia)

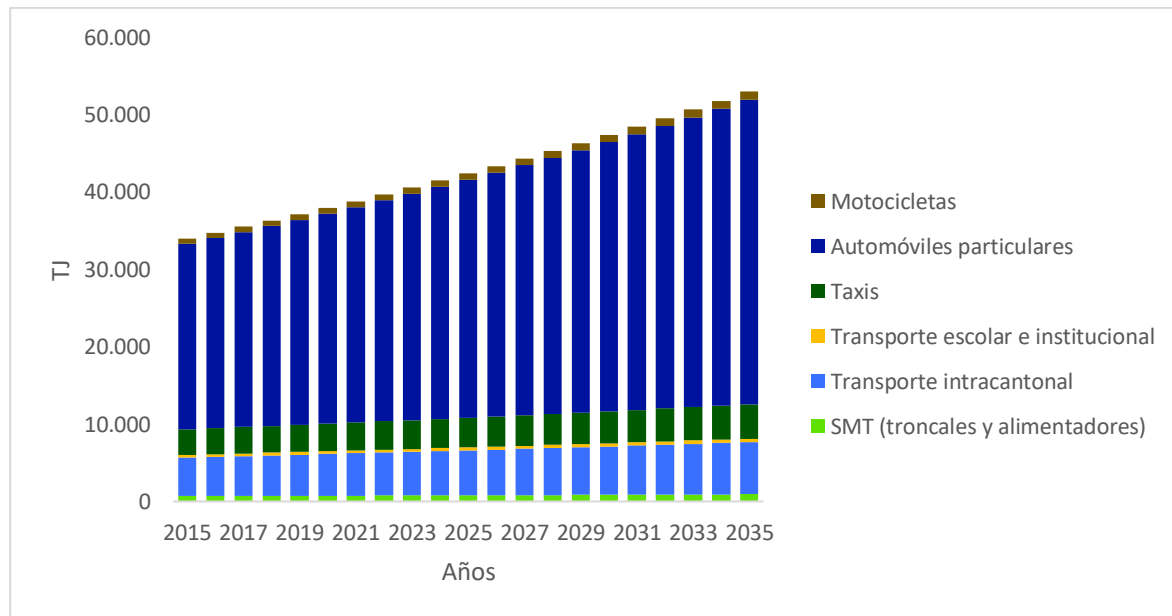


Figura 2.24. Proyección del consumo de energía por modalidad, escenario BAU

(Fuente: elaboración propia)

Respecto a la proyección desagregada por fuente de energía, cabe destacar que la gasolina seguirá siendo la fuente predominante, ganándole inclusive participación al diésel, debido al crecimiento más acelerado del transporte particular de pasajeros. Dado que en el escenario BAU no se considera la entrada en operación de sistemas eléctricos de

transporte masivo como el Metro de Quito o el sistema Quito Cables, ni tampoco mayor penetración de vehículos eléctricos, la participación de la electricidad en el período de proyección, permanece en niveles muy marginales, correspondiendo solamente al consumo de la troncal del trolebús, dicha proyección del consumo de energía por fuentes se puede observar en la Tabla 2.27 y Figura 2.25.

Tabla 2.27. Proyección del consumo de energía por fuente, escenario BAU (TJ)

	2015	2020	2025	2030	2035
Gasolina	27.954	31.449	35.389	39.832	44.842
Diésel	5.998	6.461	6.960	7.498	8.078
Electricidad	27	29	31	34	36
TOTAL	33.979	37.939	42.380	47.364	52.956

(Fuente: elaboración propia)

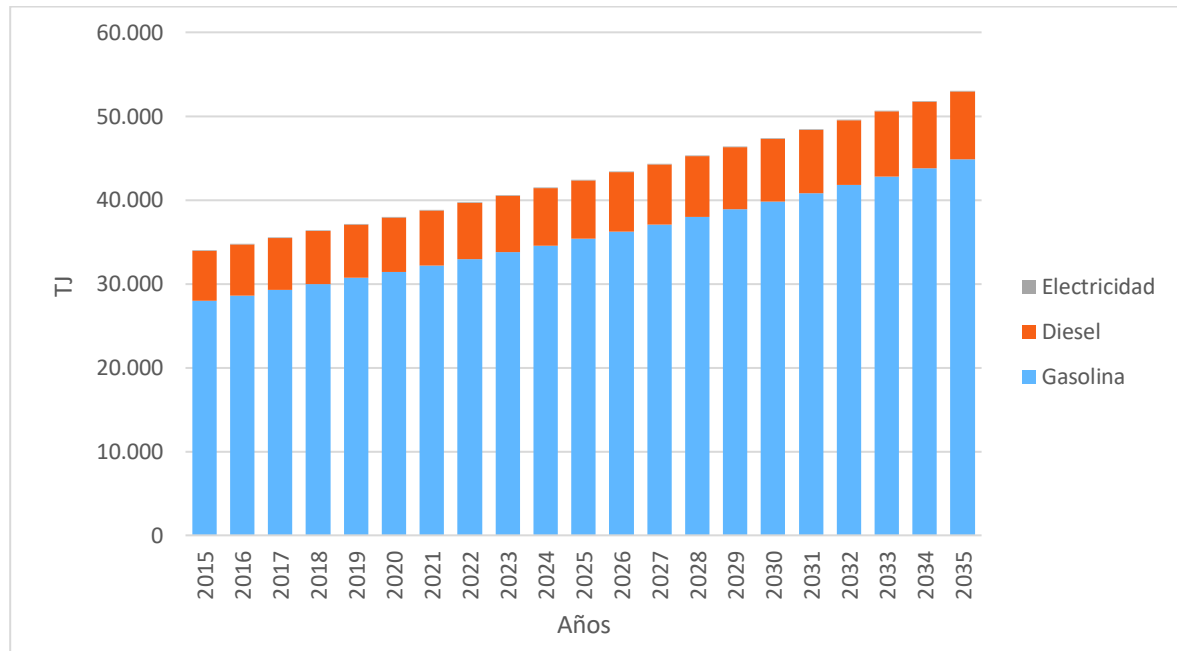


Figura 2.25. Proyección del consumo de energía por fuente, escenario BAU

(Fuente: elaboración propia)

2.7.4. Proyección de las emisiones de GEIs del escenario BAU

Con el uso de los factores de emisión de GEIs correspondientes a cada una de las fuentes de abastecimiento, especificadas en el subcapítulo 2.3, se obtiene la proyección de emisiones totales, que se observa en la

Tabla 2.28 y en la Figura 2.26.

Tabla 2.28. Proyección de las emisiones de GEIs por fuente, escenario BAU (kt CO₂ eq.)

	2015	2020	2025	2030	2035
Gasolina	2.021	2.274	2.559	2.880	3.242
Diésel	452	487	525	565	609
Electricidad	2	1	1	1	1
TOTAL	2.475	2.762	3.085	3.446	3.852

(Fuente: elaboración propia)

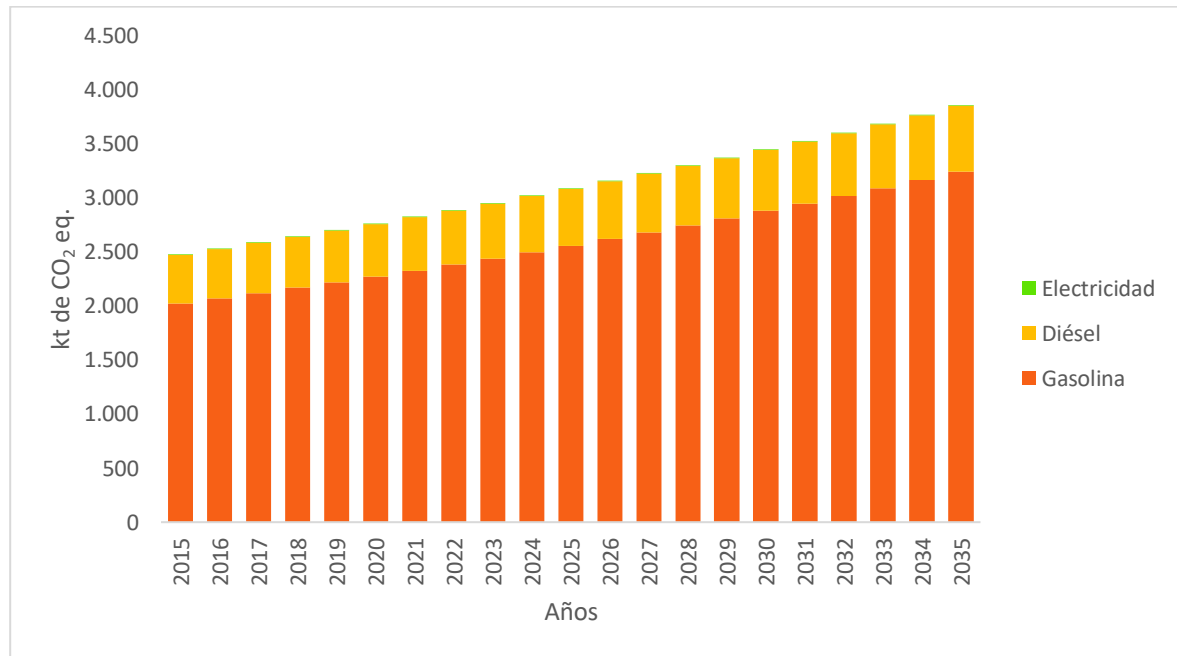


Figura 2.26. Proyección de las emisiones de GEIs, escenario BAU

(Fuente: elaboración propia)

2.7.5. Proyección del costo de abastecimiento del escenario BAU

De acuerdo a los costos unitarios de la energía determinados en el subcapítulo 2.4 y al consumo proyectado por fuente en el escenario BAU, se obtiene la proyección del costo total de abastecimiento de energía al transporte de pasajeros en el DMQ, que se aprecia en la Tabla 2.29 y en la Figura 2.27.

Tabla 2.29. Proyección del costo de abastecimiento de energía, escenario BAU (MUSD).

	2015	2020	2025	2030	2035
Gasolina	299	316	333	351	370
Diésel	49	71	104	152	223
Electricidad	1	1	1	1	1
TOTAL	349	388	438	504	593

(Fuente: elaboración propia)

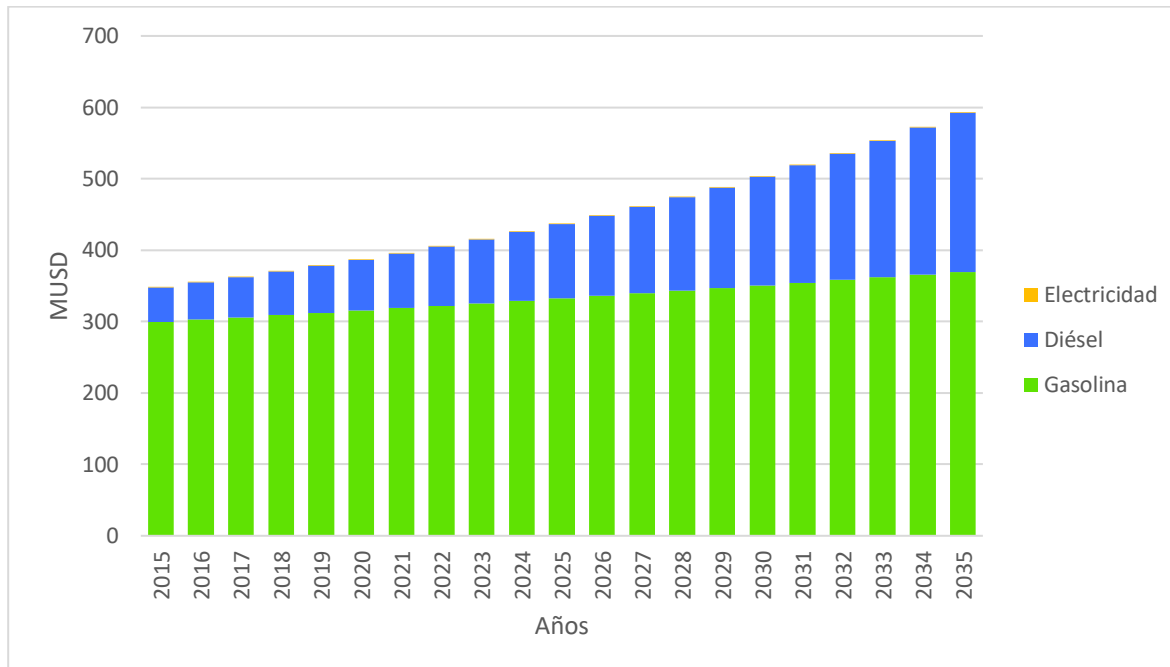


Figura 2.27. Proyección del costo de abastecimiento, escenario BAU

(Fuente: elaboración propia)

2.8. Alternativas eficientes de transporte de pasajeros para el DMQ.

2.8.1. Modalidades eficientes de transporte público de pasajeros

En este subcapítulo, se presentan las características de las modalidades de transporte de pasajeros, cuya penetración se simulará en los escenarios alternativos, con el fin de mejorar la eficiencia energética del sector, respecto al escenario base (BAU). Algunas de estas modalidades ya se encuentran en proceso de implementación, como los buses biarticulados, el Metro de Quito y el Sistema Quito Cables, mientras que otras son consideradas como factibles para su implementación a mediano plazo, en el Plan de Movilidad del Distrito Metropolitano de Quito.

Buses biarticulados

Características

A partir del año 2016, se implementaron como parte del sistema BRT de la Empresa Pública Metropolitana de Transporte, específicamente para el corredor central del trolebús, 80 buses biarticulados con las características que se indican en la Tabla 2.30.

Tabla 2.30. Características de los buses biarticulados de Quito

Tipo de buses	Volvo B340M EURO III Biarticulado
Tipo de motor	Motor electrónico VOLVO DH12D 340cv EURO III
Potencia	340 CV (250 KW)
Cilindraje	12,1 litros (12.100 c.c.)
Combustible	Diésel
Capacidad de desplazamiento	250 pasajeros
Consumo específico de combustible	62 l /100 km

(Fuente: EPMTTP)

En la Figura 2.28 se puede apreciar una foto de los buses biarticulados que circulan en Quito desde el año 2016, como parte de las rutas troncales del SMT.



Figura 2.28. Foto de un biarticulado del Sistema BRT de Quito

(Fuente: EPMTTP)

Cobertura anual

Para el cálculo de la cobertura de servicio anual de pasajeros de los biarticulados en MPKM es necesario conocer la longitud del recorrido y el número de pasajeros desplazado. De acuerdo a la información de la EPMTTP, 55 biarticulados cubren la ruta del corredor central del trolebús con una longitud de 22,5 km en redondo, lo que significa que, en un recorrido en cada viaje de 11,25 km, mientras que 20 biarticulados cubren la ruta de la Ecovía con 20,9 km en redondo. Dado que la distancia de los recorridos entre las dos rutas es muy similar se tomará como referencia para el cálculo un valor de 11 km por recorrido. Según la EPMTTP el factor de ocupación de los vehículos es del 75% y cada vehículo realiza 6

ciclos diarios, lo que significa 12 recorridos al día. En la Tabla 2.31, se observa los datos y resultados de los MPKM cubiertos por la flota de los biarticulados.

Tabla 2.31. Cobertura del servicio de transporte de la flota de biarticulados

	Capacidad (pasajeros)	Factor de ocupación	Pasajeros / recorrido	km / recorrido	Número de vehículos	Recorridos / día	MPKM / día	MPKM / año
Biarticulados	250	0,75	188	11	80	12	1,99	725

(Fuente: Elaboración propia en base a información de la EPMTTP)

Consumo específico de energía

De la información recopilada acerca de los biarticulados se conoce que en promedio cada unidad consume aproximadamente 6,2 litros de diésel por cada 10 km recorridos, lo que en términos energéticos equivale a 22,5 MJ/km. Si además se sabe que en cada recorrido de 11 km cada biarticulado desplaza 188 pasajeros, se puede calcular el consumo específico de energía como se muestra en la Tabla 2.32.

Tabla 2.32. Consumo específico de energía de la flota de biarticulados

	MJ/km	pasajeros/ vehículo	MJ / PKM	TJ/MPKM
Biarticulados	22,5	188	0,12	0,12

(Fuente: Elaboración propia)

El Metro de Quito

Características

La primera línea del proyecto del Metro de Quito, contempla la construcción de un corredor subterráneo de 22 km de longitud entre los sectores de El Labrador y Quitumbe en el norte y sur de la ciudad respectivamente, aunque se estima que el recorrido medio de los pasajeros será aproximadamente de la mitad (11 km). Contará con 18 trenes con 6 vagones cada tren con una capacidad de desplazamiento de 1.500 pasajeros, estimándose una movilización diaria total de 400.000 pasajeros. En el trayecto existirán 15 estaciones operativas y 5 en reserva. Cada tren viajará a una velocidad comercial de 37 km/h y el recorrido tomará en promedio 34 minutos (EPMMQ, 2017). En la Figura 2.29, se observa esquemáticamente la ruta de la primera línea del Metro de Quito.



Figura 2.29. Ruta de la primera línea del Metro de Quito
(Fuente: EPMMQ)

Una ilustración 3D de la estación en la Plaza San Francisco, actualmente en construcción, se puede observar en la Figura 2.30.



Figura 2.30. Esquema de la estación de la Plaza San Francisco del Metro de Quito
(Fuente: Diario el Universo, 2011)

Cobertura anual

Con la información anteriormente expuesta, es posible calcular la cobertura en términos de MPKM para el año inicial de operación, como se observa en la Tabla 2.33. Según información del proyecto la primera fase del Metro de Quito entraría en operación a mediados del 2019, por lo que se ha considerado para el estudio que para el año 2020 este sistema de transporte estaría implementado a plena capacidad.

Tabla 2.33. Cobertura del Metro de Quito (MPKM) en el año 2020

	Pasajeros /día	Pasajeros /recorrido /tren	Número de trenes	Pasajeros / recorrido	Número de recorridos	km /recorrido	MPKM / día	MPKM / año
Metro de Quito	400.000	1.500	18	27.000	15	11	4	1.606

(Fuente: Elaboración propia en base a información de la EPMMQ)

Consumo específico de energía

Se estima que, en su fase inicial, todo el sistema requerirá una potencia de 70 MW operando a plena carga y 45 MW en niveles normales de operación, con un consumo estimado para la primera fase de 105 GWh al año, el mismo que podría incrementarse hasta 120 GWh en 20 años (EPMMQ, 2017).

Una vez conocida la cobertura anual en MPKM y el consumo estimado de energía en GWh al año, se procede a calcular el consumo específico de energía como se observa en la Tabla 2.34.

Tabla 2.34. Consumo específico de energía del Metro de Quito

	MPKM/año	GWh/año	GWh/MPKM	TJ/MPKM
Metro de Quito	1.606	105	0,0654	0,235

(Fuente: Elaboración propia en base a información de la EPMMQ)

Sistema Quito Cables

Características

El proyecto Quito Cables consiste en líneas de teleférico urbano, cuyo objetivo es servir con transporte público a los barrios altos del occidente capitalino, cuyo acceso vía terrestre es dificultoso. Los estudios técnicos de este sistema innovador de transporte, fueron elaborados por la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador y es la institución encargada de la fiscalización de la Obra. La construcción de la primera línea se encuentra a cargo del Cuerpo de Ingenieros del Ejército (EPMMOP, 2017). En la Tabla 2.35 a continuación, se detallan algunas características técnicas y operativas de la primera línea del sistema Quito Cables a ser construida.

Tabla 2.35. Características de la primera línea del Sistema Quito Cables

Recorrido de la primera línea	Barrio Roldós – Barrio Ofelia al norte de Quito
Entrada en operación	fines del 2018 (según proyecto inicial)
Extensión de la ruta	3,7 km
Número de cabinas	80
Capacidad de transporte por cabina	10 pasajeros
Tiempo de recorrido	13 minutos
Frecuencia	4 cabinas / minuto
Jornada de operación diaria	18 horas
Capacidad de transporte diario	30.000 pasajeros

(Fuente: Escuela Politécnica Nacional / Colegio de Ingenieros Mecánicos de Pichincha)

Cobertura anual

Con la información operativa disponible sobre la primera línea del sistema Quito Cables, se puede calcular la cantidad anual de MPKM que cubrirá dicha fase del sistema en el año de entrada en operación, como se observa en la Tabla 2.36.

Tabla 2.36. Cobertura de servicio de la primera línea del sistema Quito Cables

	Pasajeros /día	Pasajeros /recorrido /cabina	Número de cabinas	Pasajeros / recorrido	Número de recorridos	km / recorrido	MPKM / día	MPKM / año
Quito Cables	30.000	10	80	800	38	3,7	0,11	41

(Fuente: Elaboración propia en base a información de la EPN y el CIMP)

En la proyección 3D de la Figura 2.31, se puede apreciar la estación del teleférico en el barrio La Ofelia al noroccidente de Quito.



Figura 2.31. Proyección 3D de la línea Ofelia-Roldós del Sistema Quito Cables

(Fuente: Escuela Politécnica Nacional / Colegio de Ingenieros Mecánicos de Pichincha)

Consumo específico de energía

Para el cálculo del consumo específico del Sistema Quito Cables, se partirá del valor de la potencia requerida para el Sistema de la Línea La Ofelia – Roldós que asciende a 1.352 kW (EPMMOP/EPN, 2016), lo representa un consumo de 11.844 MWh al año (ver Anexo III). Dado que es conocida la cobertura de servicio anual en MPKM, se puede calcular el consumo específico de energía en términos de (TJ/MPKM) como se muestra en la Tabla 2.37.

Tabla 2.37. Consumo específico de energía del Sistema Quito Cables

	MPKM/año	MWh/año	MWh/MPKM	TJ/MPKM
Quito Cables	41	11.844	288,87	1,04

(Fuente: Elaboración propia en base a información de la EPN y el CIMP)

De acuerdo a la información del DMQ (DMQ, 2015), a partir de la primera fase descrita anteriormente, este sistema de transporte se ampliará de la forma como se indica a continuación:

- La primera línea de teleférico, implementará un circuito adicional que cubrirá los barrios de Pisulí, La libertad, Velasco y al Ofelia. En total alcanzará una extensión de 7,9 km, dispondrá de 326 cabinas de 10 pasajeros cada una y la capacidad para desplazar 41.000 pasajeros diarios.
- Una segunda línea con el trayecto entre el Centro de la ciudad y el barrio de Toctiuco, en el centro-noroccidental está previsto que sirva a 20.000 pasajeros diarios con 70 cabinas de 10 personas cada una y un recorrido de 1,2 km.
- Línea Solanda – Mercado Mayorista - La Argelia, movilizará 20.000 pasajeros diarios, tendrá una extensión de 2,2 km y entrará en operación a fines del 2018.

En la Tabla 2.38, presentada a continuación, se observan los valores de cobertura de transporte calculados para cada una de las etapas futuras del Sistema Quito Cables.

Tabla 2.38. Ampliaciones previstas del Sistema Quito Cables

Sistema Quito Cables	Pasajeros /día	Pasajeros /recorrido /cabina	Número de cabinas	Pasajeros/ recorrido	Número de recorridos	km/ recorrido	MPKM /día	MPKM /año
Ampliación primera línea	40.000	10	326	3.260	12	7,9	0,32	115
Segunda línea	20.000	10	70	700	29	1,2	0,02	9
Tercera línea	20.000	10	140	1.400	14	2,2	0,04	16

(Fuente: Elaboración propia en base a información del DMQ)

Buses eléctricos

Características

En la actualidad, hay todavía muy poca oferta de buses 100% eléctricos en el mundo. Actualmente el primer productor de este tipo de buses es la empresa BYD de China, siendo la ciudad de Shenzhen, también de China, la que ostenta la mayor flota de buses 100% eléctricos a nivel mundial (Grütter Consulting AG, 2015). En la Figura 2.32, se puede observar una foto de los buses BYD de fabricación China.

Para simular la incorporación de buses eléctricos en el transporte público de pasajeros en Quito, se tomará como modelo el bus de la marca BYD cuya foto se puede muestra en la Figura 2.32 y algunas de sus características técnicas, se presentan en la Tabla 2.39.



Figura 2.32. Foto de buses eléctricos marca BYD

(Fuente: Grütter Consulting)

Tabla 2.39. Características de los buses eléctricos BYD

Tipo de motor	Eléctrico AC síncrono
Potencia nominal	150 kW
Potencia máxima	180 kW
Torque máximo	700 Nm
Tipo de batería	FE (Litio-in hierro-fosfato)
Capacidad de la batería	324 kWh / 600 Ah
Tiempo de recarga	2 – 4 horas
Autonomía	180 – 200 km
Capacidad de transporte	80 pasajeros

(Fuente: Grütter Consulting)

Consumo específico de energía

Para el cálculo del consumo específico de energía por MPKM servido, se utiliza como referencia el valor de 100 kWh/100 km, medido para los buses eléctricos marca BYD utilizados en la ciudad de Zhengzhou, República Popular China y su capacidad nominal de 80 pasajeros (Grütter Consulting AG, 2015). Con estos parámetros el resultado del consumo específico de energía en TJ/MPKM se observa en la Tabla 2.40.

Tabla 2.40. Consumo específico de energía de los buses eléctricos (TJ/MPKM)

	Pasajeros / recorrido/ vehículo	Consumo electricidad (kWh/km)	Consumo electricidad (kWh/ PKM)	Consumo de energía (TJ/MPKM)
Buses Eléctricos BYD	80	1	0,0125	0,045

(Fuente: Elaboración propia)

Unidades de transporte con motores a diésel bajo norma Euro III

Características

La legislación de la Unión Europea (antiguamente Comunidad Económica Europea) ha venido introduciendo desde el año 1992, diferentes directivas sobre reducción de emisiones de GEIs en el sector transporte, denominadas Euro I, II, III, IV, V y VI. Esta normativa fija límites de emisiones de GEIs para los vehículos a gasolina y diésel, de pasajeros y carga.

De acuerdo a la resolución 16529 del Ministerio de Industrias del 10 de enero de 2017, todos los vehículos en Ecuador deberían cumplir con la norma Euro 3, con plazo máximo hasta el mes de septiembre de ese mismo año. De acuerdo a información de la AEADE,

debido a que la norma Euro III, está vigente en los países europeos desde el año 2000, la mayoría de vehículos a gasolina importados desde ese año en Ecuador ya cumplen con dicha norma, así como los buses que forman parte de las troncales del SMT, sin embargo, un gran número de unidades de buses intracantonales, de transporte escolar e institucional y de cooperativas que prestan servicio como alimentadores del SMT, se encuentran todavía bajo norma Euro II, por lo que en el presente trabajo, se hace énfasis en la implementación de la norma Euro III de las unidades de dichas modalidades de transporte.

Para el caso de los vehículos de pasajeros a diésel, los límites de emisiones de GEIs, se observan en la Tabla 2.41.

Esta normativa de tipo ambiental europea, así como su similar estadounidense EPA (*Environmental Protection Agency*), adoptada por muchos países a nivel mundial, han influido sobre los fabricantes de motores de combustión interna, obligándoles entre otras medidas a incrementar la eficiencia energética de dichos motores a fin de cumplir con las normas ambientales.

Tabla 2.41. Límites de emisiones de GEIs según normativa europea para vehículos de pasajeros a diésel.

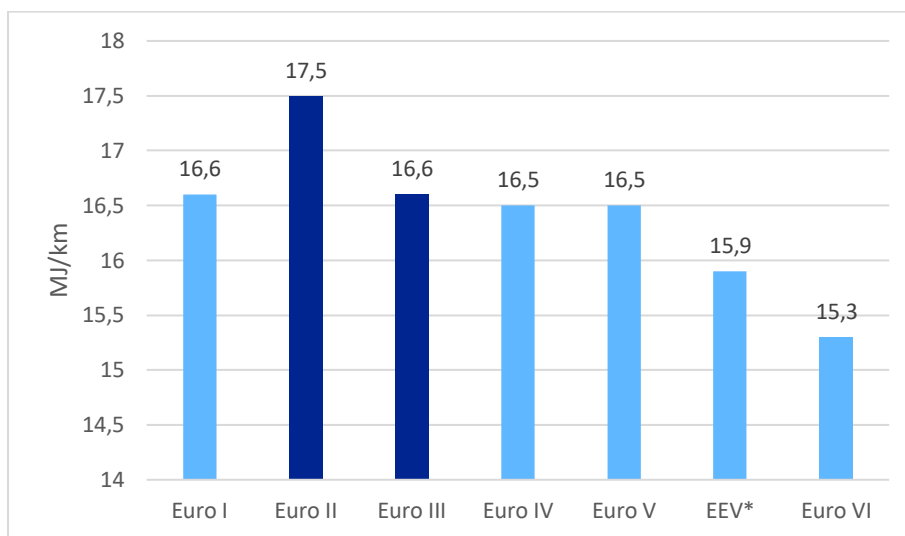
Norma	Aprobación de tipo	CO g/km	HC + NOx g/km	NOx g/km	PM g/km
Euro I	1 jul de 1992	2,72	0,97		0,14
Euro II	1 ene de 1996	1	0,7		0,08
Euro III	1 ene de 2000	0,64	0,56	0,5	0,05
Euro IV	1 ene de 2005	0,5	0,3	0,25	0,025
Euro Va	1 sep de 2009	0,5	0,23	0,18	0,005
Euro Vb*	1 sep de 2011	0,5	0,23	0,18	0,005
Euro VI	1 sep de 2014	0,5	0,17	0,08	0,005

*Introduce requisitos adicionales de cantidad de partículas por kilómetro

Fuente: <https://espanol.lubrizol.com/Lubricant-and-Fuel-Additives/Engine-Oil-Additives/ACEA/Reference-Material/Emissions-Standards>

Consumos específicos

En la Figura 2.33 a continuación, se presenta un comparativo en el consumo medio de combustible de vehículos a diésel bajo norma europea (Kate Blumberg, ICCT, 2016).



*Vehículo Ecológico Avanzado

Figura 2.33. Comparativo de consumos específicos de vehículos a diésel bajo norma europea.

(Fuente: Kate Blumberg, ICCT, 2016)

De la información indicada en la Figura 2.33, se puede obtener el porcentaje de incremento de la eficiencia de los motores Euro III respecto a los Euro II, por lo tanto, los consumos específicos de los buses alimentadores del SMT, de los buses intracantoniales y del transporte escolar e institucional, con vehículos bajo la norma Euro III, quedaría como se observa en la Tabla 2.42.

Tabla 2.42. Consumos específicos de los buses bajo norma Euro 3

Modalidad	Consumo específico con Euro 2 (TJ/MPKM)	Porcentaje de variación	Consumo específico con Euro 3 (TJ/MPKM)
Alimentadores SMT	0,29	-5%	0,27
Intracantonal	0,49	-5%	0,47
Escolar e institucional	0,26	-5%	0,25

(Fuente: elaboración propia)

Taxis eléctricos

Características

Como una modalidad de transporte público eficiente, en algunas ciudades latinoamericanas se encuentran ya en operación diferentes marcas de taxis 100% eléctricos. En el caso del Ecuador la ciudad de Loja ha sido la primera en implementar este tipo de taxis que empezaron a operar a inicios del año 2017. En la ciudad de Bogotá por ejemplo, circulan desde el año 2013 algunas unidades de taxis eléctricos, que fueron

introducidos como parte de un programa municipal de movilidad eficiente y de bajas emisiones, sin embargo debido a una insuficiente infraestructura de puntos de recarga en la ciudad, así como de incentivos para los inversionistas, el programa ha perdido sustentabilidad y los propietarios de este tipo de vehículos, enfrentan dificultades económicas.

Como modelo tipo de taxi eléctrico se ha seleccionado un automóvil de la marca BYD E-5, que es el que se encuentra circulando actualmente en la ciudad de Loja, cuya foto se puede apreciar en la Figura 2.34 y algunas de sus características técnicas en la en la Tabla 2.43.



Figura 2.34. Flota de taxis BYD-E5 100% eléctrico en Loja, Ecuador

(Fuente: <https://bydelectrico.com/autos-electricos/e5/>)

Tabla 2.43. Información técnica del automóvil BYD-E5

Potencia	90 kW (121 HP)
Par motor	310 Nm
Batería / Capacidad	LiFePO4 / 47,5 kWh
Autonomía Ciclo urbano	300 kilómetros
Velocidad máxima	130 km/h
Consumo medio	15,3 kWh/100 km
Tiempo de carga	1,5h (electrolinera de 40kW) y 6-7h (cargador doméstico de 7kWh)

(Fuente: <https://bydelectrico.com/autos-electricos/e5/>)

Consumo específico de energía

Como se indicó en la ficha técnica del tipo de taxi eléctrico tomado como modelo para la proyección (BYD-E5), el consumo medio de energía eléctrica de este vehículo es de 15,3 kWh/100 km. Asumiendo el mismo factor de ocupación considerado para los taxis

convencionales en el escenario BAU (1,05 pasajeros), el consumo específico de energía en términos de MPKM, resultar el indicado en la siguiente Tabla 2.44.

Tabla 2.44. Consumo específico de energía taxis eléctricos

	Pasajeros /recorrido / vehículo	kWh/100 km	kWh/PKM	Consumo de energía (TJ/MPKM)
Taxis eléctricos	1,05	15,3	0,146	0,52

(Fuente: elaboración propia)

Comparativo de consumos específicos modalidades de transporte publico

Una vez que se han estimado los consumos específicos de cada una de las modalidades de transporte público de pasajeros, tanto convenciones como eficientes, se puede realizar un resumen comparativo de dichas variables, el mismo que se muestra en la Figura 2.35. En esta figura se observa que la modalidad de transporte público más eficiente, resulta ser el trolebús con electricidad, seguido muy de cerca por los buses del SMT eléctricos, mientras que la modalidad más ineficiente es la de los taxis convencionales. Sin embargo, con la introducción de taxis eléctricos, se estaría logrando una importante mejora en la eficiencia de esta modalidad de transporte público.

Cabe destacar que aunque el teleférico urbano es una modalidad de transporte limpia y amigable con el ambiente, por el hecho de consumir energía eléctrica, sin embargo se puede observar que su consumo específico de energía es relativamente alto, debido a la baja capacidad de transporte de pasajeros y a que los consumos incluyen la electrificación, no solamente del sistema de tracción de las cabinas, sino de toda la infraestructura de las estaciones y las terminales, con sus respectivos servicios y equipos complementarios.

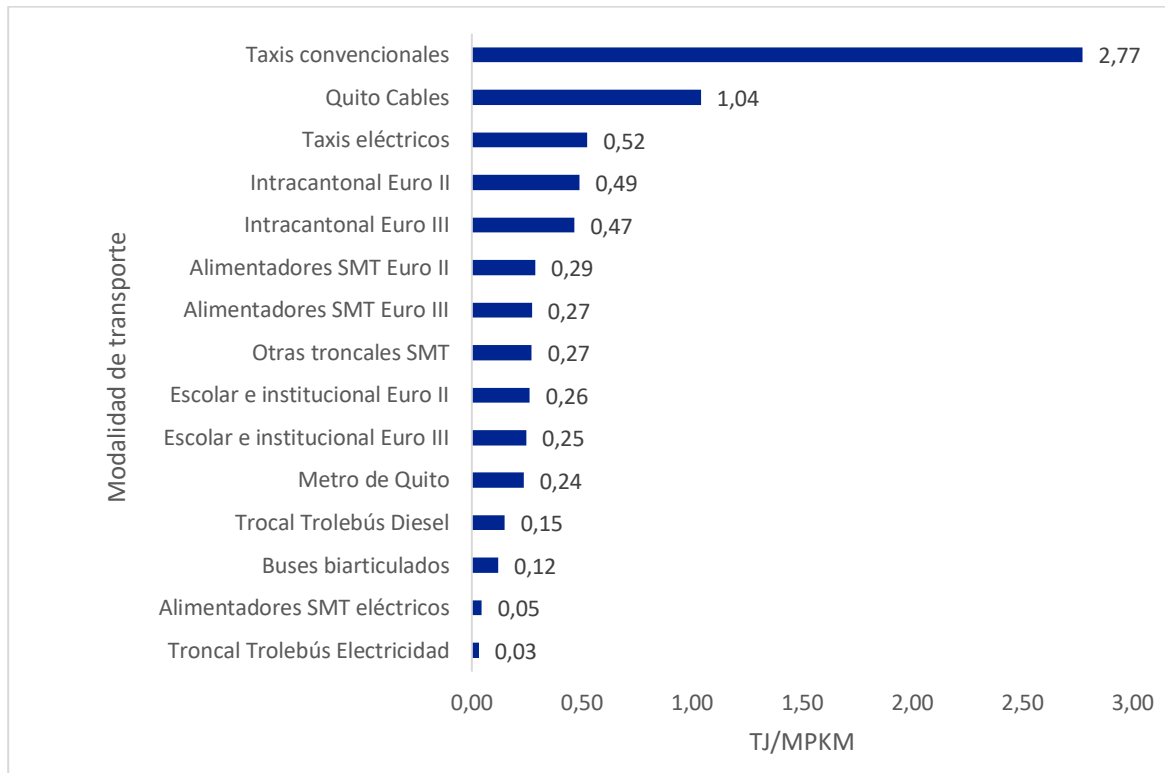


Figura 2.35. Comparativo de consumos específicos de las modalidades de transporte público de pasajeros

(Fuente: elaboración propia)

2.8.2. Modalidades eficientes del transporte particular de pasajeros

Vehículos híbridos en transporte particular de pasajeros

Características

En Quito circulan desde el año 2010, un pequeño número de autos híbridos no enchufables, que representa aproximadamente el 1% del total del parque de vehículos livianos, ubicándose en su mayoría en el rango entre los 1.500 y 2.000 c.c. (AMT, 2015).

Como una de las premisas, en la construcción de los escenarios alternativos eficientes, se asumirá el gradual incremento en la participación de este tipo de vehículos en la cobertura del servicio particular de pasajeros, seleccionándose como modelo tipo, el Toyota Prius Sport de 1.500 c.c., por ser el de menor cilindrada y el de mayor circulación actualmente en la ciudad de Quito. En la Figura 2.36, se muestra una foto de este modelo de automóvil híbrido y en la Tabla 2.45, algunas de sus características técnicas.



Figura 2.36. Foto del automóvil híbrido Toyota Prius C Sport

(Fuente: <http://www.toyota.com.ec/>)

Tabla 2.45. Especificaciones técnicas del Toyota Prius C Sport

Motor de gasolina	
<i>Tipo</i>	1NZ-FXE
<i>Cilindraje</i>	1.500 cm ³ (c.c.)
<i>Potencia máxima / revoluciones</i>	57 kW / 4.800 rpm
<i>Par motor - torque máximo / revoluciones</i>	111 Nm / 4.000 rpm
Motor eléctrico	
<i>Potencia máxima</i>	87 kW
<i>Par motor – torque máximo</i>	207 Nm
<i>Tipo de batería híbrida</i>	Niquel metal Hidruro de 144 V; 6,5 Ah
Sistema híbrido	
<i>Potencia total sistema híbrido</i>	99 HP
<i>Rendimiento del combustible</i>	98,7 km/g (26 km /L)
<i>Capacidad de transporte</i>	5 pasajeros

(Fuente: <http://www.toyota.com.ec/>)

Consumo específico de energía

Con la información del rendimiento del combustible y el factor de ocupación de los automóviles particulares en Quito, se procede a calcular el consumo específico de energía para los autos híbridos, como se observa en la Tabla 2.46.

Tabla 2.46. Consumo específico de energía para los automóviles híbridos

	Pasajeros /recorrido / vehículo	Rendimiento del combustible (km/litro)	Litros /km nominal	Factor de altura	Litros / km en Quito	Litros /KMP	Consumo de energía (TJ/MPKM)
Automóviles híbridos	1,2	26,0	0,0385	1,04	0,04	0,033	1,09

(Fuente: elaboración propia)

Automóviles 100% eléctricos.

Características

Desde el año 2015, como parte del proceso de cambio de la matriz energética del Ecuador, el Ministerio Coordinador de la Producción, Empleo y Competitividad MCPEC, emprendió en una iniciativa para la masificación del uso de vehículos 100% eléctricos en el país. Esta iniciativa no solo contempló la importación de este tipo de vehículos sino también su ensamblaje en el territorio nacional.

Algunas empresas fabricantes a nivel mundial como Renault, Kia, Nissan y BYD, fueron convocadas para ofertar sus modelos de automóviles eléctricos, las cuales presentaron vehículos entre los 8 y 90 kW de potencia con costos entre los 15.000 y 35.000 dólares. Las primeras marcas que obtuvieron permisos de importación y que ya se comercializan actualmente en Quito, son Kia con su modelo Kia Soul EV y Renault con su modelo Twizy.

En la Figura 2.37, se observa una foto del automóvil eléctrico de fabricación china BYD-E5 y en la Tabla 2.47, algunas de sus características técnicas.



Figura 2.37. Foto del BYD E5

(Fuente: <https://www.elcarrocolombiano.com/autos-del-mundo>)

Tabla 2.47. Características técnicas del BYD-E5

Potencia	90 kW (121 HP)
Par motor	310 Nm
Batería / Capacidad	LiFePO4 / 60,5 kWh 604,8 V
Autonomía Ciclo urbano	300 kilómetros
Velocidad máxima	130 km/h
Consumo medio	15,3 kWh/100 km
Tiempo de carga	1,5h (electrolinera de 40kW) y 6-7h (cargador doméstico de 7kW)

(Fuente: <https://bydelectrico.com/autos-electricos/e5/>)

Consumo específico de energía

Para el cálculo específico energía, se consideran los consumos medios de electricidad por kilómetro recorrido del segmento de autos eléctricos con potencias comprendidas entre los 80 y 90 kW, como el BYD-E5. El factor de ocupación de este tipo de vehículos de 5 plazas, se asume, el mismo de los automóviles convencionales (1,2 pasajeros). Con esta información se procede a calcular los consumos específicos de energía en términos de TJ/MPKM como se indica en la Tabla 2.48.

Tabla 2.48. Consumo específico de los automóviles eléctricos

	Pasajeros /recorrido / vehículo	kWh/km	kWh/PKM	Consumo de energía (TJ/MPKM)
Autos eléctricos de 80 a 90 kW	1,2	0,140	0,117	0,42

(Fuente: elaboración propia)

Motocicletas eléctricas

Características

En el año base alrededor del 4% de la cobertura total del transporte particular de pasajeros, correspondía a las motocicletas convencionales. El uso de este tipo de vehículos ha venido incrementándose aceleradamente en los últimos años debido sobre todo a su cada vez menor costo de adquisición y la agilidad de movilización que presenta. Actualmente, existe una variedad de marcas de motocicletas eléctricas, principalmente de origen chino, que ya se están comercializando en el País, de las cuales, con el objetivo de simular la incorporación de esta modalidad de transporte al parque vehicular del DMQ, se ha seleccionado el modelo de motocicleta, cuyas características se observan en la Tabla 2.49.

Tabla 2.49. Características técnicas de la Motocicleta Electric City Toscana 3000 C

<i>Tipo de motor</i>	Eléctrico DC
<i>Potencia máxima</i>	1,5 kW
<i>Tipo de batería</i>	Plomo-Acido 60 V 20 Ah 1,20 kWh
<i>Autonomía</i>	60 km
<i>Velocidad máxima</i>	55 km/hora
<i>Consumo específico</i>	20 Wh/km
<i>Número de plazas</i>	1 pasajero

(Fuente: <https://www.electromaps.com>)

Consumo específico de energía

Con los datos de autonomía y capacidad de la batería es posible calcular el consumo específico de energía de la motocicleta eléctrica tomada como modelo tal como se muestra en la Tabla 2.50.

Tabla 2.50. Consumo específico de la motocicleta eléctrica

	Pasajeros /recorrido/ vehículo	Autonomía (km)	Capacidad de la batería (kWh)	Consumo de electricidad (kWh/km)	kWh/ PKM	Consumo de energía (TJ/MPKM)
Motocicleta eléctrica	1	60	1,20	0,020	0,020	0,07

(Fuente: elaboración propia)

Comparativo de consumos específicos de las modalidades de transporte particular de pasajeros

Como se observa en la Figura 2.38, la modalidad de transporte particular de pasajeros más eficiente en cuanto a consumo de energía, es la correspondiente a las motocicletas eléctricas, seguida de los automóviles 100% eléctricos de menor potencia (8 kW) como el Renault Twizy; y la menos eficiente la que corresponde a los automóviles convencionales de mayor cilindraje (rango mayor a los 3.000 c.c.).

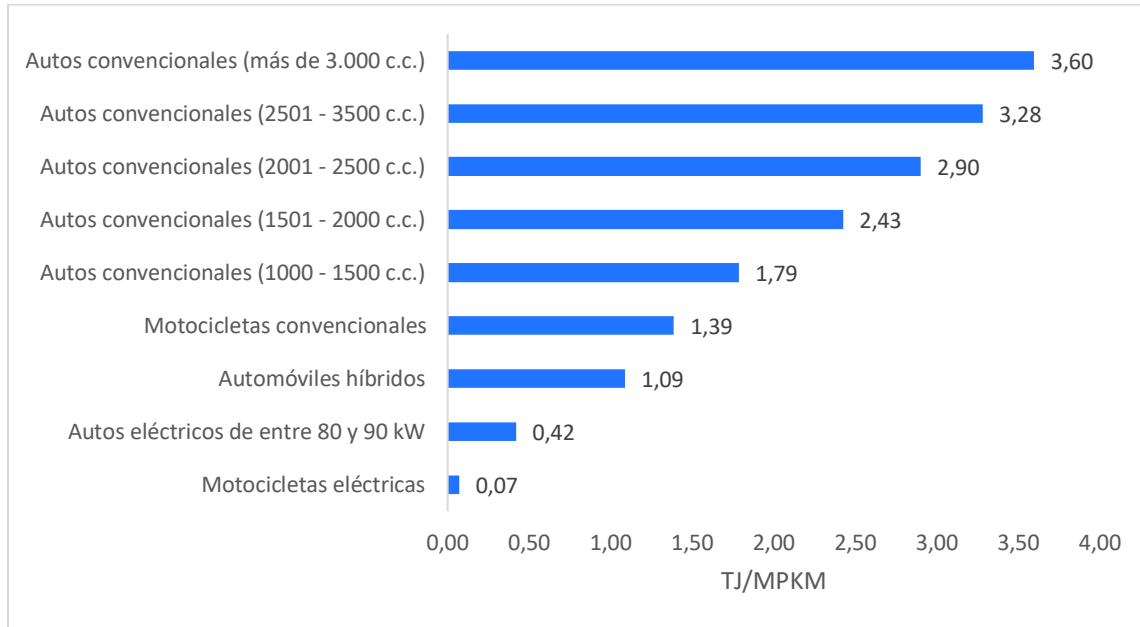


Figura 2.38. Consumos específicos de energía de las modalidades de transporte particular de pasajeros

(Fuente: elaboración propia)

2.8.3. Consumos específicos de energía, todas las modalidades de transporte.

Unificando los consumos específicos de energía de todas las modalidades de transporte de pasajeros caracterizadas, tanto de servicio público como particular, en un solo gráfico como se observa en la Figura 2.39, se puede apreciar que la modalidad más eficiente de transporte, incluyendo las nuevas modalidades analizadas, sigue siendo el trolebús eléctrico; y la menos eficiente como era de esperarse, corresponde a los automóviles particulares de más alto cilindraje.

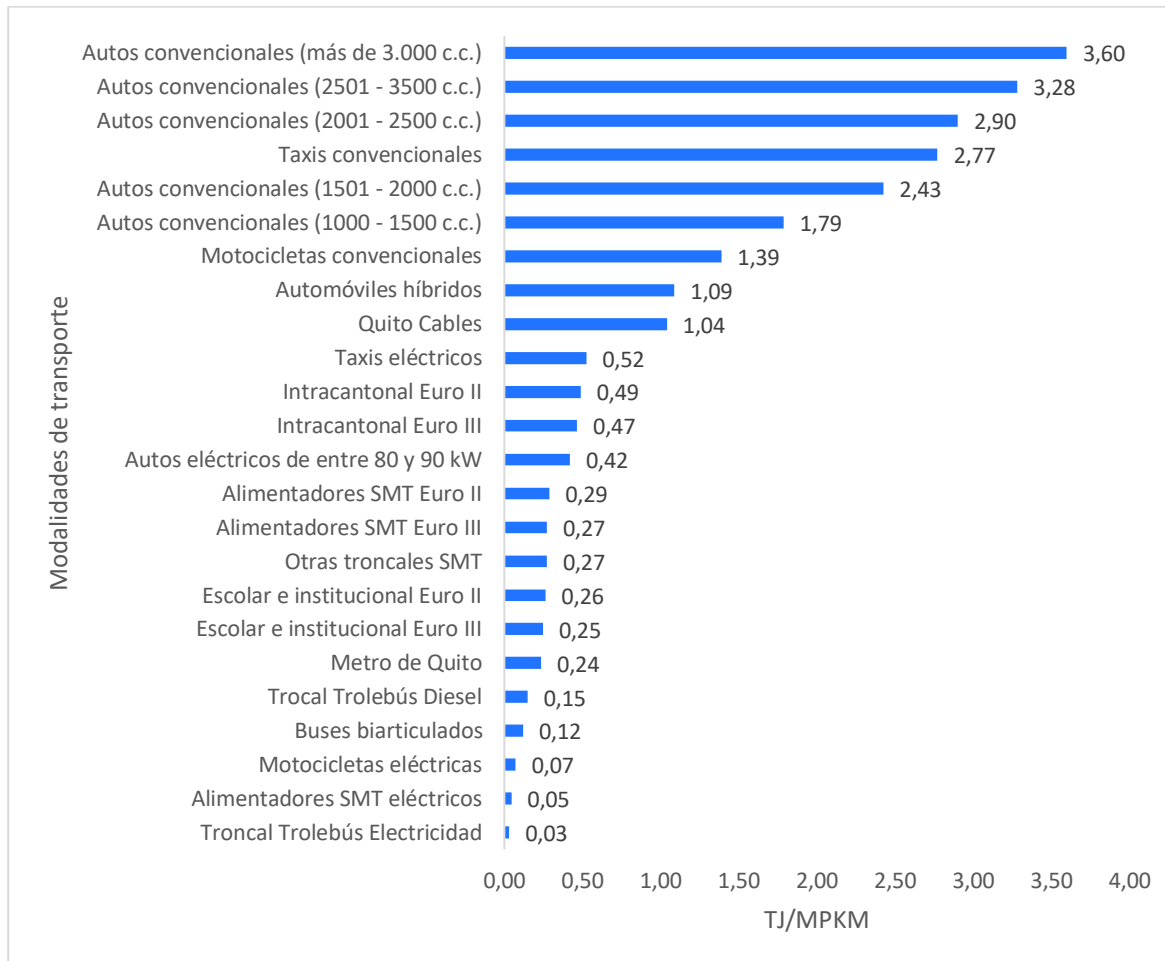


Figura 2.39. Consumos específicos de energía de las modalidades de transporte de pasajeros
(Fuente: elaboración propia)

2.9. Construcción del escenario eficiente conservador (EEC)

2.9.1. Consideraciones generales

Como primera hipótesis del escenario EEC, se asume que las condiciones de desarrollo demográfico, urbano y económico de la ciudad, son las mismas que las del escenario base, por lo tanto, este nuevo escenario, tendrá la misma proyección de la demanda total de servicio de transporte de pasajeros en términos de MPKM, calculada para el escenario BAU.

Se considera la entrada en operación de los nuevos sistemas de transporte masivo de pasajeros contemplados en el plan de movilidad del DMQ, que ya se encuentran en proceso de implementación, como los buses biarticulados del SMT, el Metro de Quito y el sistema Quito Cables.

De acuerdo al proyecto del Metro de Quito, una vez que entre en operación el Metro, se eliminará el recorrido norte del trolebús, por lo que se asume que la cobertura de esta modalidad de transporte se reducirá a la mitad de la considerada en el escenario BAU.

Se analiza el incremento de eficiencia energética en las modalidades de transporte intracantonal, escolar e institucional y alimentadores del SMT, al pasar todas sus unidades a cumplir con la norma Euro III.

Para el caso de las modalidades de transporte de pasajeros particular, se considera la penetración de automóviles híbridos y 100% eléctricos en el período de estudio, a una tasa similar a las ventas reportadas por la AEADE, para el último año de estadísticas (2017) para la provincia de Pichincha.

Se asume que, en orden de prioridad de uso de las modalidades de transporte de pasajeros, estarán primero las correspondientes al servicio público y luego las de servicio particular; y dado que la proyección de la demanda total del servicio de transporte de pasajeros para el escenario EEC, es la misma que la del escenario BAU, un incremento en la disponibilidad del servicio público, significará una menor demanda de servicio particular.

2.9.2. Premisas sobre el transporte público de pasajeros.

Respecto al transporte público de pasajeros, para el escenario EEC, se consideran las siguientes premisas:

1. Incorporación de buses biarticulados al SMT de Quito a partir del 2016.
2. Entrada en operación de la primera línea del Metro de Quito en el año 2020.
3. Entrada en operación del sistema Quito Cables en el año 2020.
4. Mejora tecnológica de las unidades de unidades de transporte con motores a diésel, adoptando la norma Euro 3 a partir del 2018.

La cobertura inicial y evolución hasta el horizonte de estudio de las modalidades de transporte público, consideradas en las premisas anteriores, se presentan en los siguientes apartados.

Buses biarticulados

Como premisa del crecimiento en la cobertura de los biarticulados, en el escenario eficiente conservador (EEC), se asume que se mantendrán en operación, durante todo el período de estudio, el mismo número de vehículos que se adquirieron en el año 2016 para ser incorporados al SMT (80 buses), ya que según la EPMTTP, no está planificado al corto o mediano plazo, la adquisición de nuevas unidades; por lo tanto, la cobertura de servicio de esta modalidad, se mantendrá constante (723 MKMP/año). La Tabla 2.51, presenta la proyección de la cobertura de servicio de los buses biarticulados y el número de unidades de dicho tipo de buses.

Tabla 2.51. Cobertura de los buses biarticulados, escenario EEC

	2015	2020	2025	2030	2035
Cobertura (MPKM)	0	723	723	723	723
Número de buses	0	80	80	80	80

(Fuente: Elaboración propia)

El Metro de Quito

Para el escenario EEC, se asume que el sistema del Metro de Quito, se mantendrá durante el período de proyección, con las características y capacidad programada para su primera Línea, la cual entrará en operación en el año 2020. En la Tabla 2.52, se indica la proyección de cobertura de esta modalidad de transporte público.

Tabla 2.52. Cobertura del Sistema Metro de Quito, escenario EEC (MPKM)

	2015	2020	2025	2030	2035
Ruta Quitumbe – El Labrador	0	1.606	1.606	1.606	1.606

(Fuente: Elaboración propia)

Sistema Quito Cables

De acuerdo al cronograma del proyecto Quito Cables, la entrada en operación estaba prevista para finales del año 2018, sin embargo, debido a una serie de dificultades que se han presentado para el avance del proyecto, que incluso ponen en riesgo su culminación, se considera para el presente escenario, solamente la entrada en operación de la primera línea, en el año 2020 (La Ofelia – Roldos) y su ampliación (Pisulí - La Ofelia) para el año

2022. De esta manera la proyección del servicio de transporte de este sistema, para el escenario EEC, será la que se observa en la Tabla 2.53.

Tabla 2.53. Cobertura del Sistema Quito Cables, escenario EEC (MPKM)

	2015	2020	2025	2030	2035
Primera línea con ampliación	0	41	115	115	115

(Fuente: Elaboración propia en base a información del DMQ)

Buses a diésel bajo norma Euro III

De acuerdo a la decisión ministerial del año 2017, que establece como norma mínima para los vehículos motorizados que circulan en el país, la Euro III, se considera como otra premisa del escenario EEC, que a partir del año 2018, todas las unidades, de servicio intracantonal, escolar e institucional y de alimentadores del SMT, pasarán a cumplir con la norma Euro III, manteniéndose este nivel tecnológico hasta el final del período de estudio.

Como se indicó en el subcapítulo anterior, la migración de los vehículos a diésel de la norma Euro II a la norma Euro III, significa una disminución del consumo específico de combustible en un 5%.

Proyección acumulada de la cobertura del servicio de transporte público de pasajeros.

De acuerdo a las diferentes premisas consideradas, en la Tabla 2.54, se presentan las coberturas proyectadas para cada una de las modalidades del transporte público de pasajeros en el DMQ, para el escenario EEC.

Tabla 2.54. Cobertura del transporte público de pasajeros en el DMQ, escenario EEC (MPKM)

	2015	2020	2025	2030	2035
Trolebús con electricidad	854	460	496	534	575
Trolebús con diésel	211	0	0	0	0
Troncales SMT convencionales	973	1.012	1.146	1.290	1.446
Troncales SMT biarticulados	0	725	725	725	725
Metro de Quito	0	1.606	1.606	1.606	1.606
Sistema Quito Cables	0	41	115	115	115
Alimentadores SMT Euro II	1.270	0	0	0	0
Alimentadores SMT Euro III	0	1.369	1.474	1.588	1.711
Buses intracantoniales Euro II	10.262	0	0	0	0
Buses intracantoniales Euro III	0	10.232	11.049	11.969	12.960
Escolar e Intitucional Euro II	1.243	0	0	0	0
Escolar e Intitucional Euro III	0	1.339	1.443	1.554	1.674
Taxis convencionales	1.192	1.284	1.383	1.490	1.605
TOTAL	16.006	18.066	19.436	20.872	22.419

(Fuente: Elaboración propia)

Como se puede observar en la Figura 2.40, la entrada en operación del Metro de Quito y el Sistema Quito Cables en el año 2020, aunque reemplaza parte del servicio de los buses intracantoniales, significa un incremento en la oferta o cobertura del servicio de transporte público de pasajeros para la ciudad capital, lo que puede traducirse en una sustitución también parcial del transporte particular como se verá más adelante.

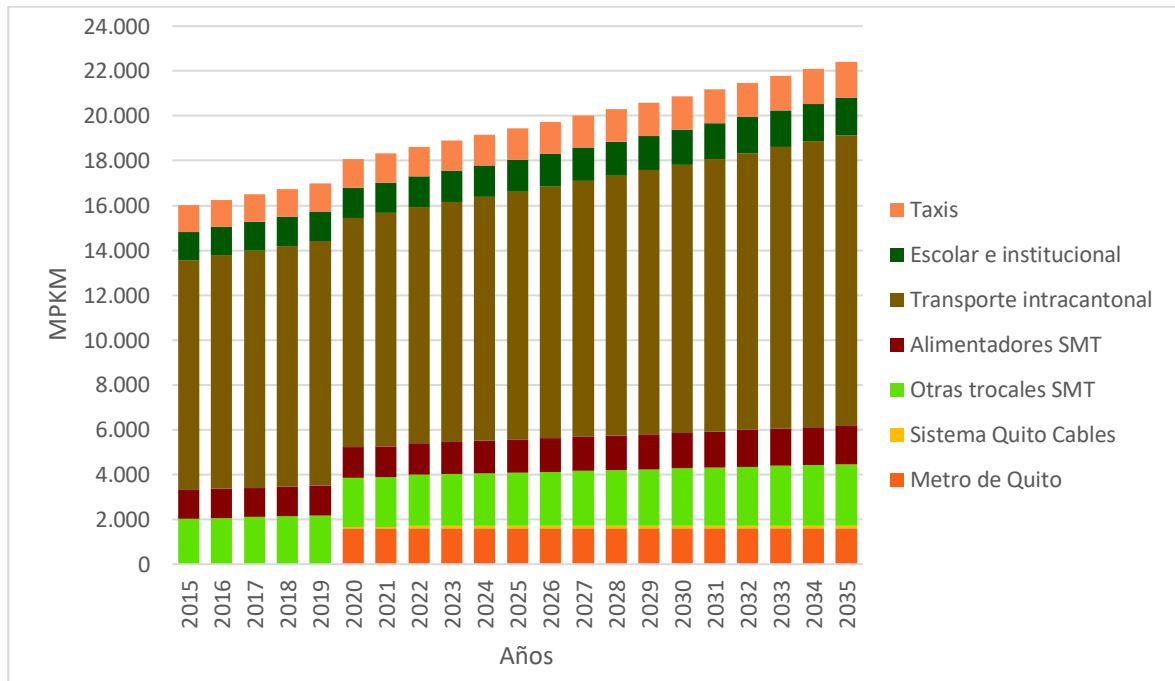


Figura 2.40. Cobertura del servicio público de pasajeros en el DMQ, escenario EEC

(Fuente: elaboración propia)

2.9.3. Premisas sobre el transporte particular de pasajeros

Como se indicó en apartados anteriores, los vehículos de servicio particular (automóviles y motocicletas), consumen cerca de las tres cuartas partes del total de energía consumida por el transporte de pasajeros en el DMQ (ver Figura 2.20). Esto se debe al elevado número de vehículos en circulación, a su bajo factor de ocupación y a su relativamente alto consumo específico de energía. Por esta razón a esta modalidad de transporte se la puede considerar como la más intensiva en energía y por lo tanto es donde se requiere orientar los mayores esfuerzos, tanto para mejorar su eficiencia energética, como para racionalizar su uso.

Como premisas aplicadas al transporte particular de pasajeros en el escenario eficiente (EEC), se consideran las siguientes:

1. La cobertura del transporte particular de pasajeros, en el escenario EEC, corresponderá en cada año de proyección, a la diferencia entre la demanda total de transporte de pasajeros (MPKM) y la demanda cubierta por las modalidades de transporte público.
2. Existirá un incremento del parque de vehículos híbridos de servicio particular.
3. Se dará una incorporación progresiva del uso de vehículos eléctricos particulares.

Cobertura del servicio particular de pasajeros en el DMQ

Algunas de las hipótesis simuladas para el transporte público de pasajeros en el escenario EEC, específicamente, la entrada en operación del Metro de Quito y la implementación del sistema Quito Cables, producen un incremento en la cobertura del transporte público en el DMQ. Dado que la demanda total de transporte de pasajeros en el escenario EEC es la misma que la del escenario BAU, el incremento en la cobertura del transporte público, se traduce automáticamente en una disminución de la cobertura del transporte particular de pasajeros. De esta forma la demanda remanente del servicio a ser cubierta por los vehículos particulares, es la que se observa en la

Tabla 2.55 y en la Figura 2.41.

Tabla 2.55. Cobertura por tipo de servicio, escenario EEC (MPKM)

	2015	2020	2025	2030	2035	t.p.a.
Transporte público de pasajeros	16.006	18.066	19.436	20.872	22.419	1,7%
Transporte particular de pasajeros	10.484	11.038	12.560	14.323	16.318	2,2%
TOTAL	26.490	29.105	31.996	35.195	38.737	1,9%

(Fuente: elaboración propia)

Pese a la entrada de los sistemas de transporte público masivo en el 2020, como el Metro de Quito y el Sistema Quito Cables, el transporte particular incrementó su participación en el período de estudio, pasando del 40% en el año base al 43% en el año 2035. Esto debido a la mayor tasa de crecimiento de la demanda de transporte particular.

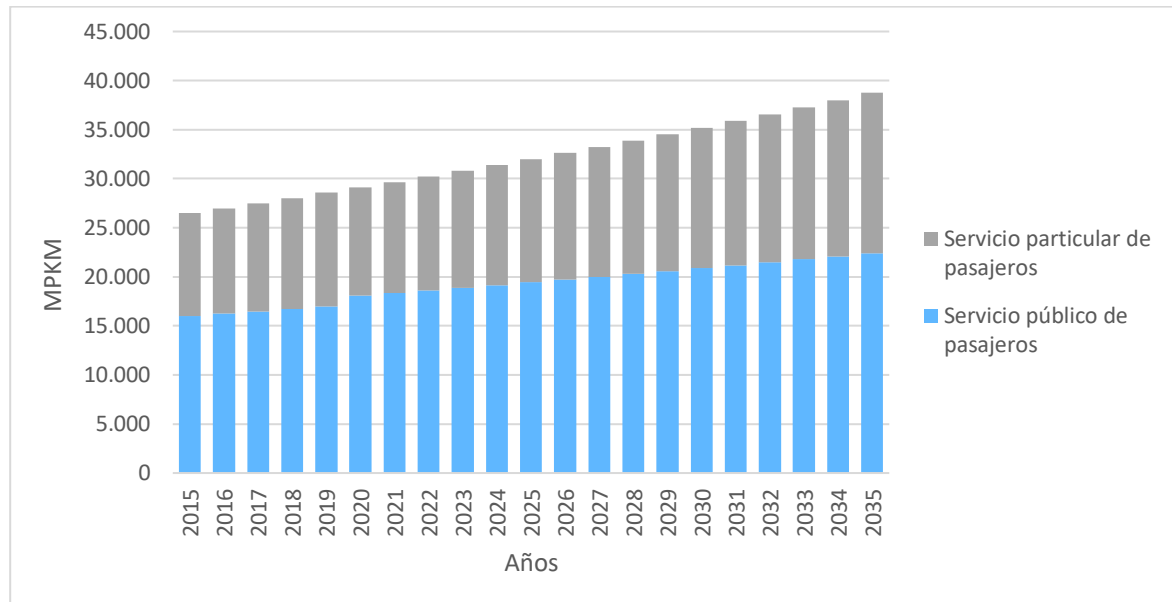


Figura 2.41. Cobertura de transporte de pasajeros por tipo de servicio, escenario EEC
(Fuente: elaboración propia)

Penetración de automóviles híbridos

Se conoce que en el año base circulaban en Quito aproximadamente 3.500 vehículos híbridos (AMT, 2015), considerando el mismo factor de ocupación y recorrido medio anual del resto de automóviles particulares, resulta en una cobertura de 105 MKMP, como se observa en la Tabla 2.56. De acuerdo a la información del anuario AEADE 2017 (AEADE, 2018), las ventas de vehículos híbridos en la provincia de Pichincha, en los últimos 4 años, han evolucionado como se muestra en la Figura 2.42. Si bien son muy pocos años de información histórica como para pretender extraer una línea de tendencia, se puede observar que, en el año 2017, dichas ventas se disparan llegando a un valor casi tres veces superior al promedio de los tres años anteriores.

Tabla 2.56. Cobertura de los autos híbridos en el año 2015

	Número de vehículos	Km / año	Factor de ocupación	MPKM / año
Automóviles híbridos	3.500	25.000	1,2	105

(Fuente: elaboración propia en base a datos de la AMT)

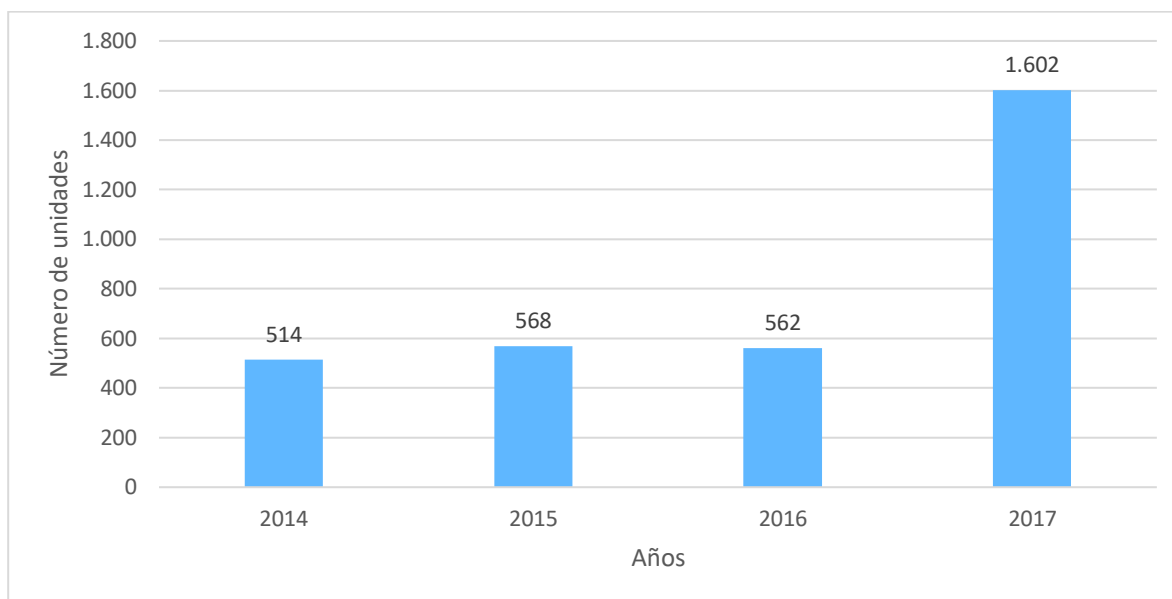


Figura 2.42. Ventas anuales de automóviles híbridos, en la provincia de Pichincha
(Fuente: elaboración propia, con base en información del Anuario AEADE 2017)

De manera consecuente con el criterio conservador del presente escenario, se asumirá que un número de vehículos híbridos similar a las ventas en el año 2017, para la provincia de Pichincha, se incorporará anualmente durante el resto del período de estudio en la ciudad de Quito, con lo cual la proyección de cobertura y de número de unidades quedaría como se observa en la Tabla 2.57.

Tabla 2.57. Proyección de la cobertura de los autos híbridos, escenario EEC.

	2015	2020	2025	2030	2035	t.p.a
Cobertura (MPKM)	105	314	554	795	1.035	12,1%
Número de vehículos	3.500	10.470	18.480	26.490	34.500	12,1%

(Fuente: elaboración propia, con base en información del anuario AEADE 2017)

Incorporación de automóviles 100% eléctricos

Desde el año 2016, se inició en el Ecuador, la comercialización de autos eléctricos, sin embargo, debido sus altos costos relativos a sus similares convencionales, a su limitada autonomía y a la falta de la infraestructura complementaria, como estaciones públicas de recarga, no se vislumbra una masificación de este tipo de transporte en un plazo muy corto. Según la información del anuario de AEADE 2017, en la provincia de Pichincha, entre los años 2016 y 2017, se ha registrado un reducido número de ventas de automóviles 100%

eléctricos, como se indica en la Figura 2.43, observándose inclusive una baja de las ventas en el 2017 respecto a las del año anterior.

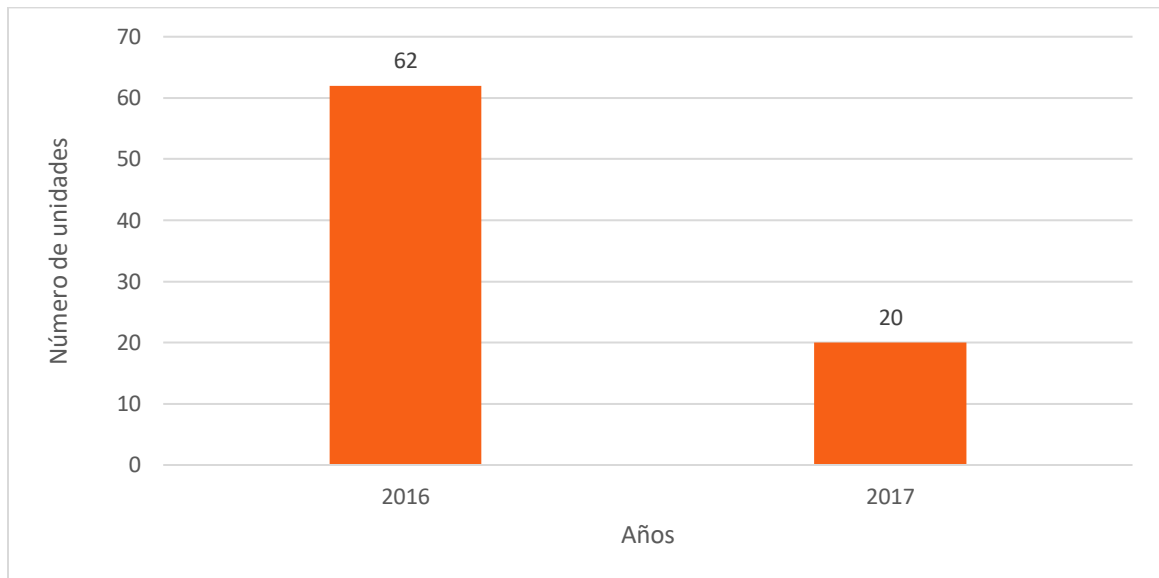


Figura 2.43. Ventas anuales de automóviles 100% eléctricos, en la provincia de Pichincha (Fuente: elaboración propia, con base en información del Anuario AEADE 2017)

La baja cantidad de automóviles vendidos en el año 2017, puede deberse quizás a una degradación del impacto de la publicidad que tuvieron los autos eléctricos a finales del año 2015, cuando se les presentó como una alternativa viable de movilidad tanto para la ciudad de Quito como para el resto de ciudades del Ecuador, ofreciéndose por parte del Gobierno incentivos tributarios y la implementación de electrolineras para la recarga rápida de las baterías. Incluso, se anunció la construcción de una fábrica para la producción nacional de este tipo de vehículos. Sin embargo, los precios de las unidades que se empezaron a comercializar continuaron siendo poco competitivos respecto a sus similares convencionales, no se llegaron a implementar las electrolineras ni tampoco prosperó el proyecto de la producción nacional.

De manera similar a la premisa adoptada para los vehículos híbridos, se asumirá en el presente escenario, que la incorporación de vehículos eléctricos en el período de estudio, mantendrá la tasa de ventas registradas para la provincia de Pichincha en el año 2017. Si bien vehículos de pequeña potencia como el Renault Twizy, siguen actualmente en venta en la ciudad de Quito, se asumirá como modelo de vehículo eléctrico, el correspondiente al rango entre 80 Y 90 kW, considerando que sus prestaciones están más acordes a las condiciones de movilidad en esta ciudad. Para el cálculo de la cobertura se tomará el

mismo factor de ocupación de los automóviles convencionales (1,2 pasajeros), pero un recorrido medio anual menor, debido a la limitación de autonomía, considerando este valor igual a 15.000 km anuales. De esta forma, la proyección de la cobertura y número de unidades de vehículos eléctricos, quedaría como se presenta en la Tabla 2.58.

Tabla 2.58. Proyección de la cobertura de los autos eléctricos, escenario EEC.

	2015	2020	2025	2030	2035	t.p.a
Cobertura (MPKM)	0	3	4	6	8	7,9%
Número de vehículos	0	142	242	342	442	7,9%

(Fuente: elaboración propia, con base en información del anuario AEADE 2017)

Con las premisas consideradas de incorporación de los autos eléctricos, en el presente escenario, la cobertura proyectada de este tipo de vehículos al finalizar el período estudio, resultaría ser completamente insignificante, representando solamente el 0,06% de la demanda del servicio particular de transporte y apenas el 0,02% de la demanda total de transporte de pasajeros en el DMQ.

Proyección acumulada de la cobertura del servicio de transporte particular de pasajeros.

Tomando en cuenta que la cobertura total del servicio particular de transporte de pasajeros, en el escenario EEC, va reducirse respecto a la del escenario BAU, debido al incremento en la disponibilidad del transporte público, se consideró una disminución proporcional de la cobertura de las modalidades que no fueron consideradas en las medidas de eficiencia energética de este sector, como son las motocicletas convencionales y los automóviles convencionales de segmentos de potencia superiores.

En la Tabla 2.59 y Figura 2.44, se puede observar la proyección total de la cobertura del transporte particular de pasajeros para el escenario EEC, desagregado por modalidades.

Tabla 2.59. Proyección de la cobertura del transporte particular de pasajeros por modalidades, escenario EEC (MPKM).

Modalidad	2015	2020	2025	2030	2035
Automóviles de entre 1000 y 1500 cc.	3.042	3.442	3.894	4.406	4.985
Automóviles de entre 1501 y 2000 cc.	4.426	4.392	4.890	5.499	6.208
Automóviles de entre 2001 y 2500 cc.	1.233	1.224	1.363	1.533	1.730
Automóviles de entre 2501 y 3000 cc.	730	724	806	907	1.024
Automóviles de más de 3000 cc.	483	479	533	600	677
Automóviles híbridos	105	314	554	795	1.035
Automóviles eléctricos	0	3	4	6	8
Motocicletas convencionales	465	461	514	578	652
TOTAL	10.484	11.038	12.560	14.323	16.318

(Fuente: elaboración propia)

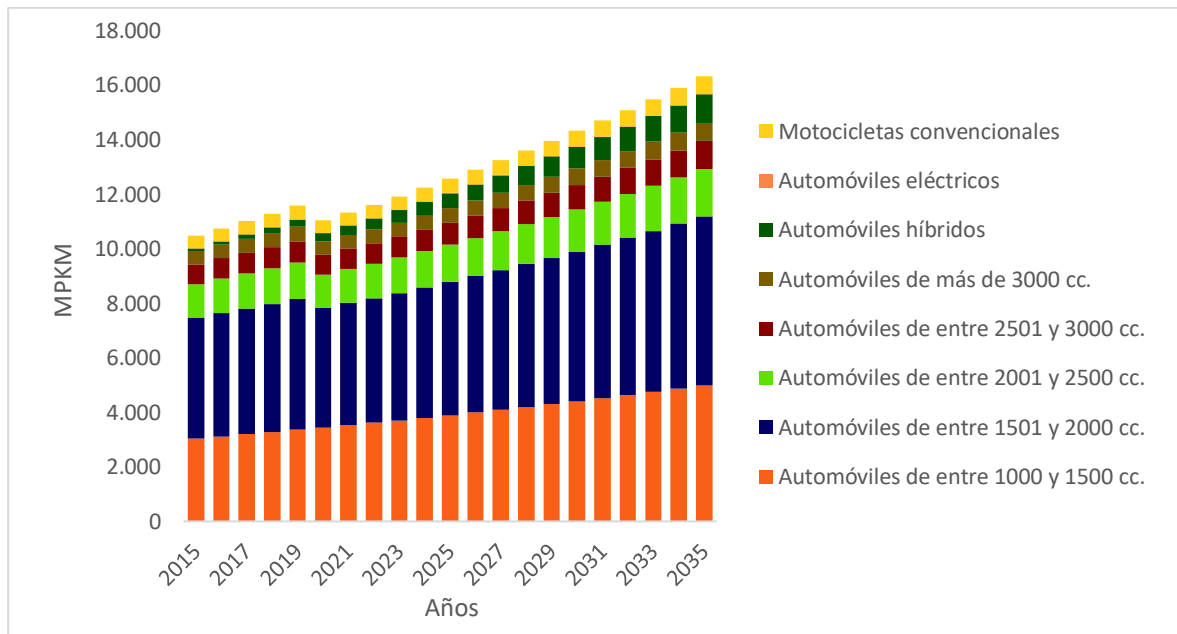


Figura 2.44. Cobertura del transporte particular de pasajeros por modalidades, escenario EE

(Fuente: elaboración propia)

En la Tabla 2.60, se indica el número de vehículos en circulación, necesario para obtener la cobertura proyectada para el transporte particular de pasajeros en el escenario EEC. Es oportuno recalcar que esta proyección no necesariamente afectaría de manera directa el volumen de ventas de vehículos particulares en el DMQ, ya que la adquisición de nuevos vehículos en este subsector, puede estar desligado de la demanda de transporte y estar relacionado con otras variables, económicas y socioculturales.

Tabla 2.60. Proyección del número de vehículos necesarios para la cobertura del servicio particular de pasajeros por modalidades, escenario EEC.

Modalidad	2015	2020	2025	2030	2035
Automóviles de entre 1000 y 1500 cc.	101.402	114.727	129.803	146.860	166.159
Automóviles de entre 1501 y 2000 cc.	147.530	146.384	163.011	183.315	206.926
Automóviles de entre 2001 y 2500 cc.	41.115	40.796	45.430	51.088	57.669
Automóviles de entre 2501 y 3000 cc.	24.324	24.135	26.877	30.225	34.118
Automóviles de más de 3000 cc.	16.090	15.965	17.779	19.993	22.568
Automóviles híbridos	3.500	10.470	18.480	26.490	34.500
Automóviles eléctricos	0	142	242	342	442
Motocicletas convencionales	23.250	23.069	25.690	28.890	32.611
TOTAL	357.212	375.689	427.312	487.203	554.992

(Fuente: elaboración propia)

2.9.4. Proyección integrada de la cobertura del transporte de pasajeros en el DMQ.

En la Tabla 2.61 y Figura 2.45, se puede observar la proyección de la cobertura del transporte de pasajeros en el DMQ, por cada una de las modalidades de transporte tanto de servicio público como particular. Es evidente, el desplazamiento que sufre el transporte particular por los sistemas de transporte masivo de pasajeros, especialmente por la entrada en operación en el año 2020 del Metro de Quito.

Tabla 2.61. Proyección total de la cobertura de transporte de pasajeros por modalidades, escenario EEC.

Modalidades	2015	2020	2025	2030	2035
Metro de Quito	0	1.606	1.606	1.606	1.606
Sistema Quito Cables	0	41	115	115	115
Otras trocales SMT	2.039	2.197	2.366	2.549	2.746
Alimentadores SMT	1.270	1.369	1.474	1.588	1.711
Transporte escolar e institucional	10.262	10.232	11.049	11.969	12.960
Transporte intracantonal	1.243	1.339	1.443	1.554	1.674
Taxis	1.192	1.284	1.383	1.490	1.605
Automóviles particulares	10.019	10.577	12.046	13.745	15.666
Motocicletas	465	461	514	578	652
TOTAL	26.490	29.105	31.996	35.195	38.737

(Fuente: elaboración propia)

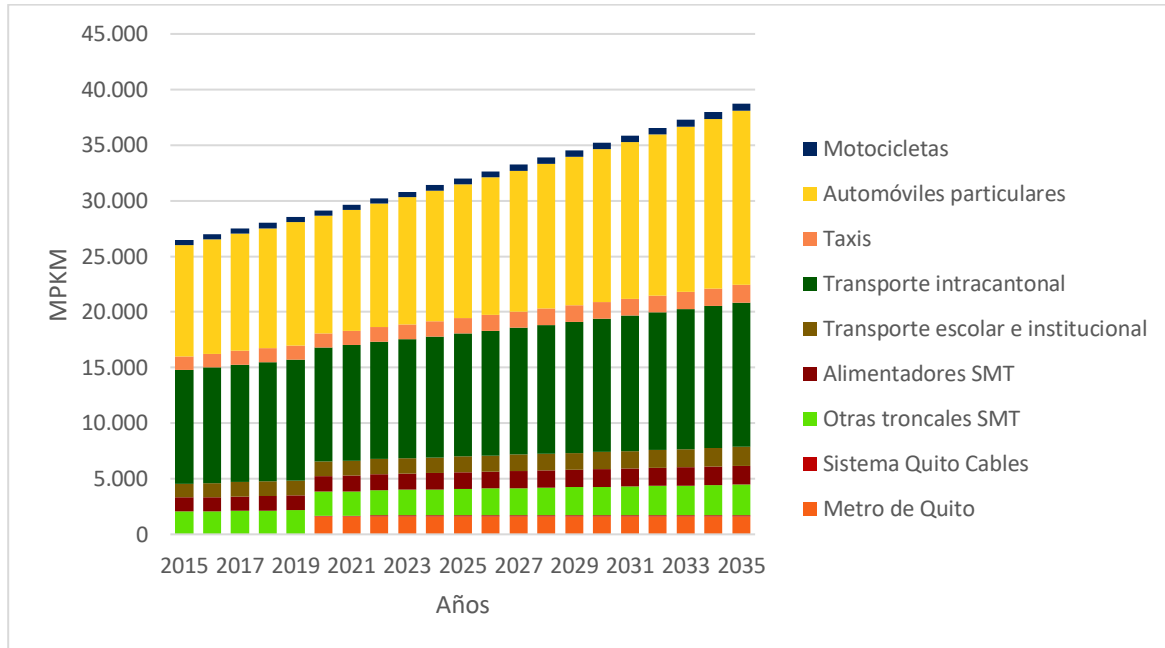


Figura 2.45. Proyección de la cobertura total del transporte de pasajeros en el DMQ, escenario EEC
(Fuente: elaboración propia)

2.9.5. Proyección del consumo de energía para el escenario EEC

Como se puede observar en la Tabla 2.62 y la Figura 2.46, la entrada en operación de los sistemas de transporte masivo eléctricos en el SMT, como son el Metro de Quito y el sistema Quito Cables, en el año 2020, producen instantáneamente un baja en el consumo total de energía, respecto al año anterior. Sin embargo, la mayor fracción del consumo se mantiene en los automóviles de uso particular.

Tabla 2.62. Proyección del consumo de energía, por modalidad, escenario EEC (TJ).

	2015	2020	2025	2030	2035
Metro de Quito	0	378	378	378	378
Sistema Quito Cables	0	42	120	120	120
Otras troncales SMT	323	377	414	455	499
Alimentadores SMT	365	374	402	434	467
Transporte intracantonal	5.008	4.768	5.149	5.578	6.040
Transporte escolar e institucional	328	331	356	384	414
Taxis	3.305	3.560	3.835	4.131	4.451
Automóviles particulares	24.004	24.804	27.954	31.671	35.921
Motocicletas	646	641	714	802	906
TOTAL	33.979	35.274	39.323	43.953	49.194

(Fuente: elaboración propia)

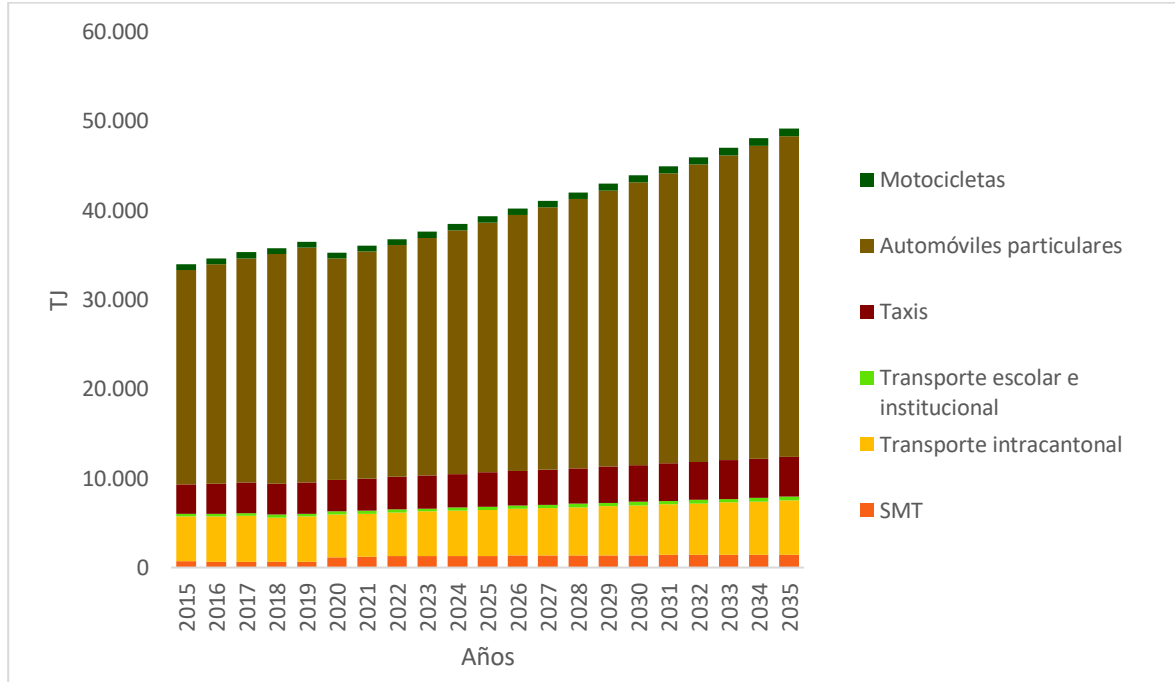


Figura 2.46. Proyección del consumo de energía por modalidad, escenario EEC
(Fuente: elaboración propia)

La proyección del consumo de energía por cada fuente de abastecimiento, utilizada en el transporte de pasajeros del DMQ, para el escenario EEC, se puede observar en la Tabla 2.63 y la Figura 2.47. Aquí se aprecia que la gasolina mantiene predominancia en el consumo total de energía, sin embargo, la electricidad comienza a ganar participación, representando en el año 2035, el 1% del consumo total, frente al 0,07% correspondiente al escenario BAU, para el mismo año.

Tabla 2.63. Proyección del consumo de energía por fuente, escenario EEC (TJ).

	2015	2020	2025	2030	2035
Gasolina	27.954	29.004	32.501	36.602	41.274
Diésel	5.998	5.835	6.306	6.833	7.401
Electricidad	27	435	514	515	516
TOTAL	33.979	35.273	39.321	43.950	49.191

(Fuente: elaboración propia)

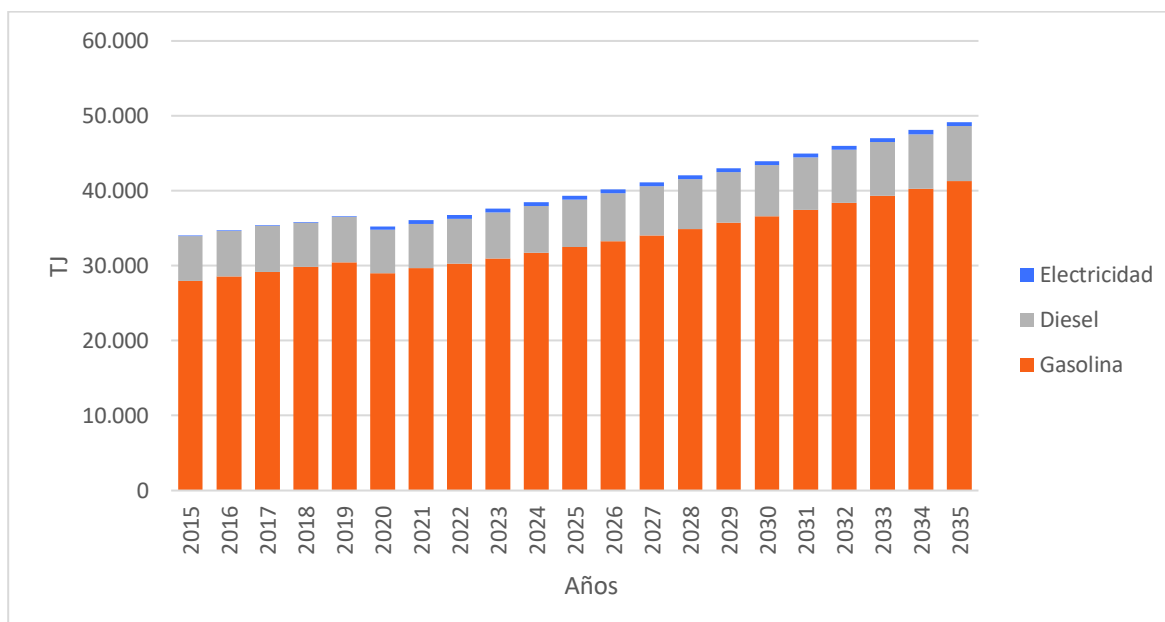


Figura 2.47. Proyección del consumo de energía por fuente, escenario EEC

(Fuente: elaboración propia)

2.9.6. Proyección de las emisiones de GEIs del escenario EEC

Como se observa en la Tabla 2.64, de la simulación del escenario EEC, se obtiene un porcentaje de reducción de emisiones de GEIs al año 2030 del 8%, el cual se mantiene hasta el final del período de proyección. Este porcentaje es considerablemente menor a la meta establecida por el Ecuador para el año 2030, en sus NDCs, la cual se encuentra entre el 20,4% y el 25%, respecto a su respectiva línea base. Esta deficiencia, justifica la construcción de un escenario eficiente más optimista, mediante el cual se asegure que el sector, objeto del presente estudio, alcance por lo menos el valor mínimo de la mencionada meta.

Tabla 2.64. Proyección de las emisiones de GEIs por fuente, escenario EEC (kt de CO₂ eq.).

	2015	2020	2025	2030	2035
Gasolina	2.021	2.097	2.350	2.646	2.984
Diésel	452	440	475	515	558
Electricidad	2	20	18	15	15
TOTAL	2.475	2.556	2.843	3.177	3.558
% de reducción respecto al BAU	0%	7%	8%	8%	8%

(Fuente: elaboración propia)

De manera coherente con lo que ocurre con el consumo de energía, se puede apreciar en la Figura 2.48, que la entrada en operación de los nuevos sistemas de transporte masivo

en el año 2020, producen en ese año una caída en las emisiones de GEIs, respecto al 2019.

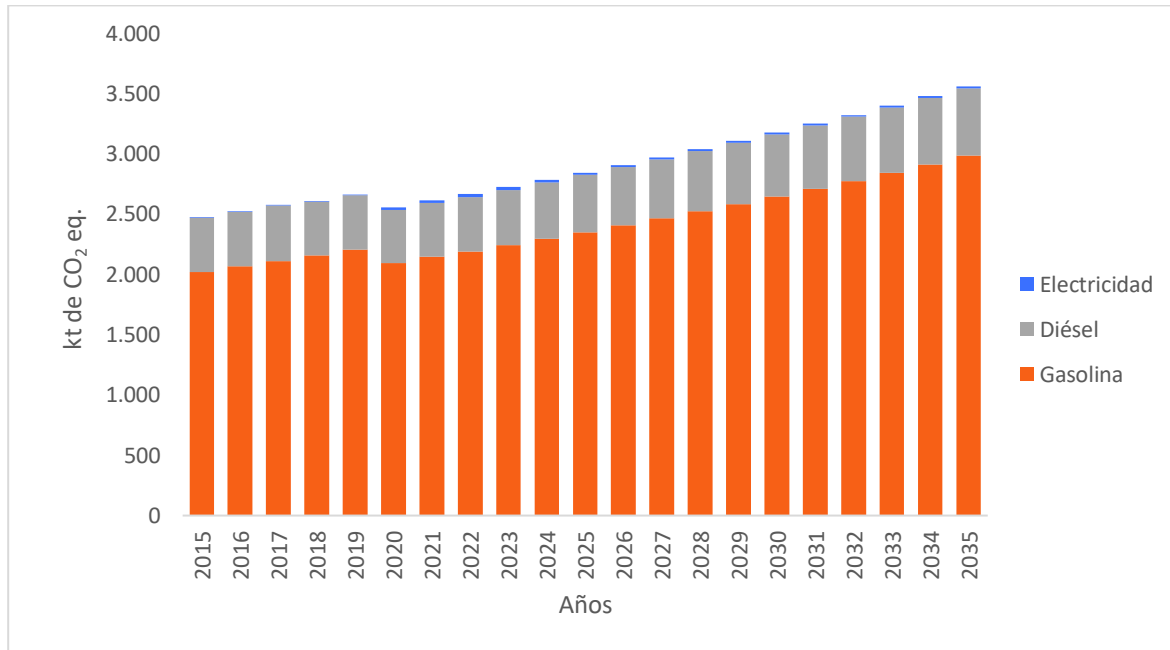


Figura 2.48. Proyección de las emisiones de GEIs, escenario EEC

(Fuente: elaboración propia)

2.9.7. Proyección del costo de abastecimiento de energía del escenario EEC

Los costos de abastecimiento de energía, por fuente y total, para el escenario EEC, se pueden observar en la Tabla 2.65 y la Figura 2.49. Al igual que el consumo y las emisiones de GEIs, en el año 2020, se produce un descenso de estos costos respecto al año anterior, como efecto de la entrada en operación del Metro de Quito y el sistema Quito Cables.

Tabla 2.65. Proyección del costo de abastecimiento de energía, escenario EEC (MUSD).

	2015	2020	2025	2030	2035
Gasolina	299	291	305	322	340
Diésel	49	64	94	139	204
Electricidad	1	12	14	14	14
TOTAL	349	367	413	475	558

(Fuente: elaboración propia)

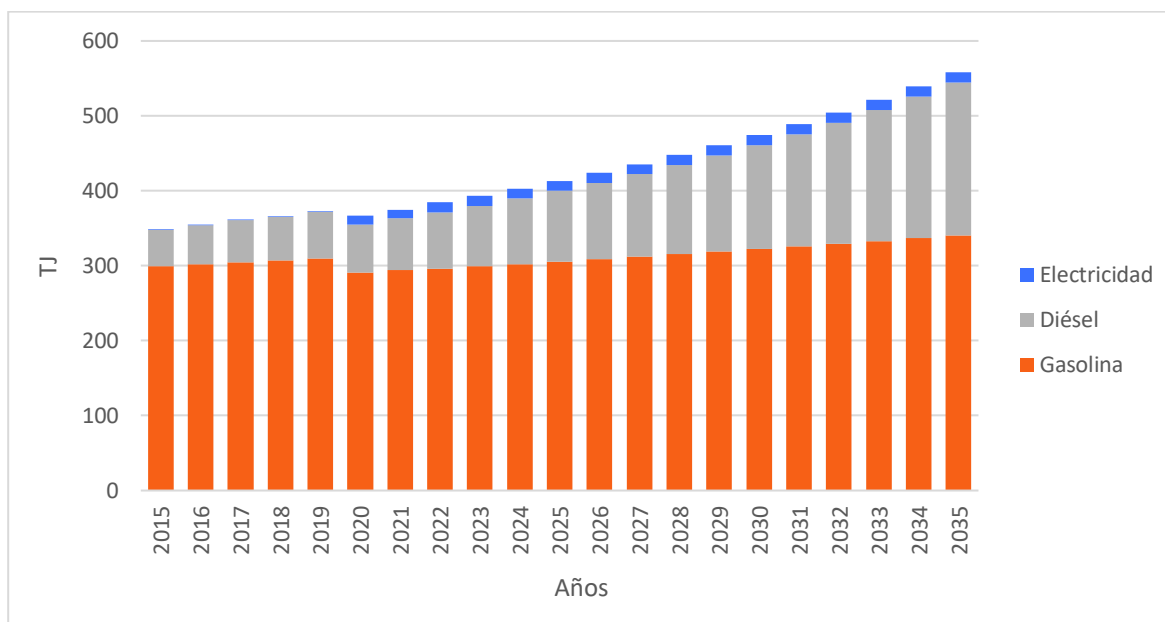


Figura 2.49. Proyección del costo de abastecimiento de energía, escenario EEC

(Fuente: elaboración propia)

2.10. Construcción del escenario eficiente optimista (EEO)

2.10.1. Consideraciones generales

De acuerdo a la metodología planteada, dado que con las premisas del escenario EEC, no se llegaría a alcanzar la meta mínima de reducción de GEIs, planteada en los NDCs de Ecuador, se construye este segundo escenario alternativo, con el fin de proponer medidas adicionales de eficiencia energética en el sector analizado, que permitan alcanzar dicha meta.

El escenario EEO, constituye una ramificación del escenario EEC, a partir del año 2025, desde el cual se considera que las condiciones para la implementación de medidas de eficiencia energética en el transporte, serían más favorables que en la primera década del período de proyección, debido principalmente a que, con los niveles de producción anual de petróleo del 2016 (200,7 Mbbl) y el volumen de reservas probadas de este recurso en ese mismo año (3.168 Mbbl), el Ecuador, estaría agotando completamente sus reservas probadas de petróleo en el año 2032 (OLADE, 2016) y a punto de convertirse en un país importador de este recurso primario y sus derivados, con el consecuente impacto para su economía. Este hecho justifica la premisa que, al arrancar la segunda década del período de proyección, ya se tomen medidas más agresivas de eficiencia energética en el transporte, orientadas al ahorro en el gasto de combustibles derivados del petróleo.

Las premisas específicas aplicadas al servicio de transporte público y particular de pasajeros en el DMQ, para el escenario EEO, se detallan a continuación.

2.10.2. Premisas sobre el transporte público de pasajeros

Extensión de la línea central del Metro de Quito

El proyecto del Metro de Quito, menciona una eventual extensión de la línea central del sistema, llegando a conectar los barrios de Guamaní al sur de la capital, con el barrio Carcelén al norte (EPMMQ, 2017), que se encuentran a una distancia de aproximadamente 47 km. Si bien no se dispone todavía de información sobre las características operativas de esta línea extendida, ni de la fecha de entrada en operación, considerando la proporcionalidad de algunos parámetros de la primera línea, se ha procedido a proyectar la ampliación en la cobertura que produciría la extensión de dicha línea. Se ha considerado también que la extensión entraría en operación en dos etapas: la primera (El Labrador – Carcelén) en el 2025 y la segunda (Quitumbe – Guamaní) en el 2030. Bajo estas premisas, se obtiene la cobertura de cada etapa que se observa en la Tabla 2.66.

Tabla 2.66. Cobertura estimada para las extensiones de la línea central del Metro.

Metro de Quito	Año de entrada	Pasajeros /día	Pasajeros /recorrido /tren	Número de trenes	Pasajeros / recorrido	Número de recorridos	km /recorrido	MPKM / día	MPKM / año
Línea extendida (Carcelén - Quitumbe)	2025	500.000	1.500	18	27.000	19	15	8	2.700
Línea extendida (Carcelén - Guamaní)	2030	600.000	1.500	36	54.000	11	24	14	5.184

(Fuente: Elaboración propia)

Con las extensiones consideradas en la línea central del metro de Quito, la cobertura de esta modalidad de transporte en el período de proyección, evoluciona como se observa en la Tabla 2.67

Tabla 2.67. Proyección de la cobertura del Metro de Quito, escenario EEO (MPKM).

	2015	2020	2025	2030	2035
Metro de Quito	0	1.606	2.700	5.184	5.184

(Fuente: Elaboración propia)

Ampliación del Sistema Quito Cables

Considerando para el escenario EEO la entrada en operación de la segunda y tercera línea del sistema Quito Cables en el 2025, cuyas características se indicaron en la Tabla 2.38, se obtiene la evolución de la cobertura de esta modalidad de transporte que se observa en la Tabla 2.68.

Tabla 2.68. Proyección de la cobertura del Sistema Quito Cables, escenario EEO (MPKM).

	2015	2020	2025	2030	2035
Sistema Quito Cables	0	41	140	140	140

(Fuente: Elaboración propia)

Buses eléctricos en el SMT

Se considera la implementación de buses 100% eléctricos, exclusivamente en el SMT, pues se asume que, por el alto costo de inversión de este tipo de vehículos, su adquisición sea más factible por parte del DMQ, que por cooperativas o transportistas privados.

Debido a que no se dispone de información cuantitativa de un plan oficial de implementación de buses 100% eléctricos para el SMT, se asume como hipótesis que a partir del año 2025 se iniciará la implementación paulatina de este tipo buses, hasta alcanzar en el año 2035, una representación del 20% de la cobertura proyectada de los buses alimentadores convencionales del SMT, en el escenario EEC. En la Tabla 2.69, se observa dicha evolución.

Tabla 2.69. Cobertura de los buses 100% eléctricos en el escenario EEO (MPKM)

	2015	2020	2025	2030	2035
Buses eléctricos del SMT	0	0	31	187	342

(Fuente: Elaboración propia)

Incremento de cobertura del transporte escolar e institucional

Como otra de las premisas del escenario EEO, se considera que cada vez, un mayor número de entidades públicas y privadas de la ciudad de Quito, implementen servicio de transporte institucional para sus empleados, permitiendo reducir así el uso de vehículos particulares. En este sentido, se asume que para el año 2035, la cobertura del transporte escolar e institucional, se incrementa en un 50% respecto a lo proyectado en el escenario EEC y que dicho incremento avanza con tasa de crecimiento anual constante desde el año

2025. Bajo esta premisa, la cobertura del transporte escolar e institucional, evoluciona en el escenario EEO, como se observa en la Tabla 2.70.

Tabla 2.70. Cobertura del transporte escolar e institucional, escenario EEO (MPKM)

	2015	2020	2025	2030	2035
Escolar e institucional Euro II	1.243	0	0	0	0
Escolar e institucional Euro III	0	1.339	1.497	1.939	2.512

(Fuente: Elaboración propia)

Incorporación de taxis eléctricos

Si bien la incorporación de taxis eléctricos es una medida de eficiencia energética del transporte público de pasajeros, que ya se encuentra siendo implementada en el País, específicamente en la ciudad de Loja, en ciudades de gran tamaño como Quito y Guayaquil, esta iniciativa no ha podido despegar, principalmente por aspectos relacionados con la limitada autonomía de los vehículos disponibles en el mercado, sus costos elevados en comparación con los vehículos convencionales y la falta de la infraestructura necesaria para recarga rápida de las baterías. Sin embargo, dado que es una iniciativa que forma parte del Plan de Movilidad del DMQ, en el presente escenario, se considera una modesta penetración de taxis eléctricos, asumiendo que al año 2035, un 5% de la cobertura que los taxis convencionales tienen en el escenario EEC, corresponderá a taxis eléctricos en el escenario EEO, evolucionando esta penetración linealmente desde el año 2025. Con esta premisa, la evolución en la cobertura y número de unidades de taxis eléctricos, se presenta en la Tabla 2.71.

Tabla 2.71. Evolución de la implementación de taxis eléctricos en el DMQ

	2015	2020	2025	2030	2035
Cobertura en MPKM	0	0	7	44	80
Número de unidades	0	0	87	519	952

(Fuente: Elaboración propia)

Cobertura total del servicio público de pasajeros en el escenario EEO

Con las medidas adicionales de eficiencia energética para el transporte público de pasajeros, planteadas para el escenario EEO, la evolución de la cobertura total y por modalidades de este servicio, se puede observar en la Tabla 2.72 y la Figura 2.50.

Tabla 2.72. Proyección de la cobertura del transporte público, escenario EEO (MPKM)

	2015	2020	2025	2030	2035
Trolebús eléctrico	854	460	528	780	1.151
Trolebús con diésel	211	0	0	0	0
Troncales SMT convencionales	973	1.012	1.146	1.290	1.446
Troncales SMT biarticulados	0	725	725	725	725
Metro de Quito	0	1.606	2.700	5.184	5.184
Quito Cables	0	41	140	140	140
Alimentadores SMT Euro II	1.270	0	0	0	0
Alimentadores SMT Euro III	0	1.369	1.474	1.588	1.711
Alimentadores SMT eléctricos	0	0	31	187	342
Buses intracantoniales Euro II	10.262	0	0	0	0
Buses intracantoniales Euro III	0	10.232	9.779	8.837	9.828
Escolar e Institucional Euro II	1.243	0	0	0	0
Escolar e Institucional Euro III	0	1.339	1.497	1.939	2.512
Taxis convencionales	1.192	1.284	1.376	1.446	1.525
Taxis eléctricos	0	0	7	44	80
TOTAL	16.006	18.066	19.403	22.159	24.644

(Fuente: Elaboración propia)

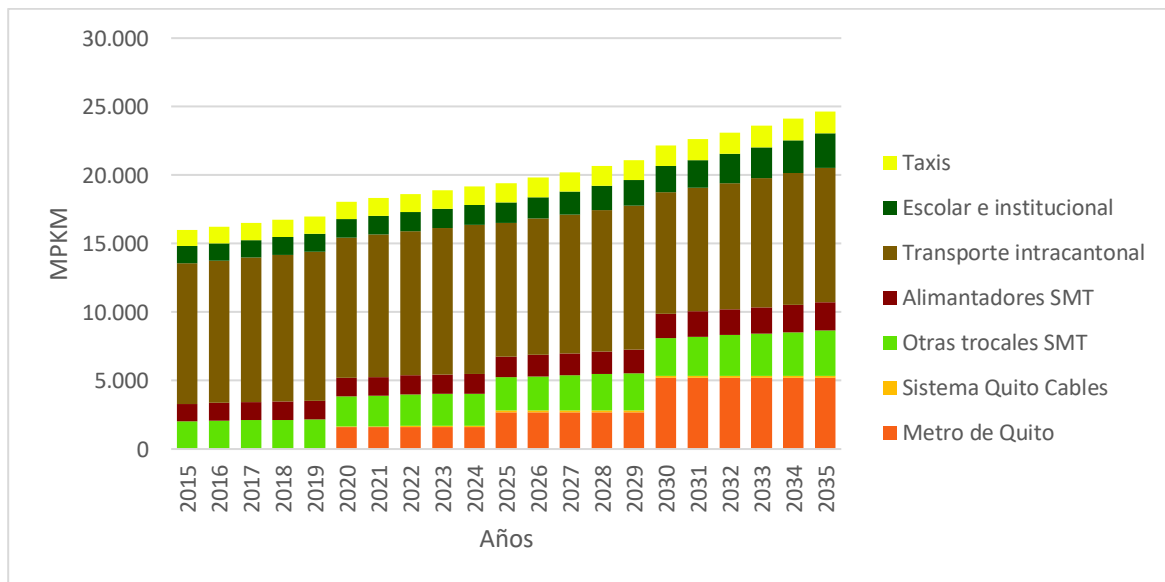


Figura 2.50. Proyección de la cobertura del transporte público, escenario EEO

(Fuente: elaboración propia)

2.10.3. Premisas sobre el transporte particular de pasajeros

Cobertura del transporte particular escenario EEO

Al igual que para el escenario EEC, se asume que la demanda total del servicio de pasajeros en el escenario EEO, será la misma proyectada para el escenario BAU y que el servicio de transporte particular será el complemento al servicio público para cubrir dicha

demanda. De esta forma, la cobertura total del transporte particular de pasajeros para el escenario EEO, es la que se observa en la Tabla 2.73.

Tabla 2.73. Proyección de la cobertura del transporte por tipo de servicio, escenario EEO (MPKM)

	2015	2020	2025	2030	2035
Servicio público de pasajeros	16.006	18.066	19.403	22.159	24.644
Servicio particular de pasajeros	10.484	11.038	12.593	13.036	14.093
TOTAL	26.490	29.105	31.996	35.195	38.737

(Fuente: Elaboración propia)

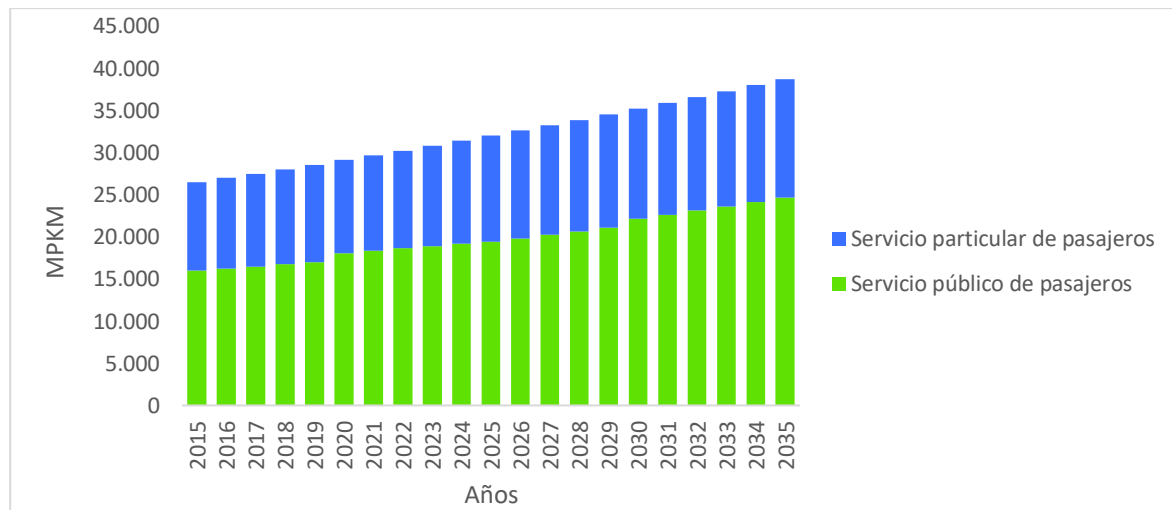


Figura 2.51. Proyección de la cobertura del transporte público, escenario EEO

(Fuente: elaboración propia)

A continuación, se describen las premisas correspondientes al servicio particular de transporte de pasajeros, para el escenario EEO.

Mayor penetración de automóviles híbridos

Como premisa de la penetración más intensiva de autos híbridos, se asume que al año 2035, el número de vehículos híbridos será el doble que el proyectado en el escenario EEO para ese mismo año, acelerándose su incorporación desde el año 2025, como se observa en la Tabla 2.74.

Tabla 2.74. Penetración de autos híbridos, escenario EEO

	2015	2020	2025	2030	2035
Cobertura (MPKM)	105	314	575	1.091	2.070
Número de vehículos	3.500	10.470	19.183	36.382	69.000

(Fuente: Elaboración propia)

Mayor penetración de automóviles 100% eléctricos

En cuanto a los automóviles 100% eléctricos, para que esta modalidad llegue a tener relevancia dentro de la cobertura del servicio particular de transporte, es necesario que se intensifiquen los incentivos para la adquisición masiva de ese tipo de vehículos, como completa exención de impuestos, precios subsidiados de las unidades, tratamiento preferencial de movilidad y parqueo, instalación de electrolineras urbanas y rurales, etc. Dándose estas condiciones, se asume que para el año 2035, la cobertura de los automóviles eléctricos en el escenario EEO, será 10 veces la cobertura proyectada en el escenario EEC, para el mismo año, acelerándose su incorporación al parque vehicular desde el año 2025. En la Tabla 2.75, se presenta la proyección resultante de dichas premisas.

Tabla 2.75. Penetración de autos 100% eléctricos, escenario EEO

	2015	2020	2025	2030	2035
Cobertura (MPKM)	0	3	5	20	80
Número de vehículos	0	142	291	1.135	4.420

(Fuente: Elaboración propia)

Mayor penetración de automóviles particulares de pequeño cilindraje (1.000 a 1.500 c.c.)

En el diagnóstico realizado para el año base (subcapítulo 2.5), se observó que los automóviles particulares de mayor circulación en el DMQ, tienen cilindrajes en el rango entre los 1.501 y 2.000 c.c., con una participación del 42% respecto al total de vehículos de servicio particular, lo que significa autos con potencias entre los 80 y 140 Hp (60 y 104 kW) aproximadamente y capacidad para transportar 5 pasajeros. La preferencia de los quiteños por este segmento de vehículos se puede explicar por el hecho de que son espaciosos con buen desempeño para las características topológicas de la ciudad, precios asequibles y con gasto de combustible moderado (8,59 l/100 km en promedio), que gracias a los subsidios vigentes no representan mayor variación en términos económicos respecto a los automóviles de menor cilindraje.

No obstante, una medida adicional de eficiencia energética que podría ser implementada en el DMQ, es incentivar el uso de vehículos de baja potencia, que tengan las prestaciones suficientes para las necesidades de transporte de la mayoría de los usuarios. Esta premisa es coherente si se considera que el factor de ocupación de los automóviles particulares en

Quito es solamente de 1,2 pasajeros por vehículo, que el número promedio de integrantes de una familia en el Ecuador es de 3,9 personas (INEC, 2017) y que los automóviles de menor potencia que circulan actualmente en Quito, tienen capacidad para 4 y 5 pasajeros incluido el conductor. Además, ya sea por motivos económicos o ambientales, en algún momento el País puede verse en la necesidad de eliminar los subsidios a los combustibles y promover, ya sea mediante incentivos o mediante restricciones, el uso de vehículos de bajo consumo específico.

Una referencia de los automóviles particulares de baja potencia puede ser el Kia Picanto 1.2, cuyas ventas en la provincia de Pichincha, de acuerdo al anuario AEADE 2017, ascendieron vertiginosamente entre 2016 y 2017, pasando de 278 unidades en 2016 a 1.451 unidades en 2017. Además, su cilindraje nominal (1.248 cc) está ubicado muy cerca del punto medio del segmento entre 1.000 y 1.500 cc. La foto y algunas características técnicas de este vehículo se indican en la Figura 2.52 y la Tabla 2.76 respectivamente.



Figura 2.52. Foto del Kia Picanto 1.2 LX
(Fuente: <http://www.kia.com>)

Tabla 2.76. Características técnicas del Kia Picanto 1.2

Tipo de motor	1,25 LDOHC 16 Válvulas
Combustible	Gasolina
Cilindraje	1,248 c.c.
Potencia máxima	83 HP (65 kW) / 6.000 rpm
Par motor máximo / revoluciones	122 Nm / 4.000 rpm
Velocidad máxima	168 km/hora
Consumo específico de combustible	7 litros / 100 km
Número de plazas	5 pasajeros

(Fuente: <http://www.kia.com>)

Como premisa de la magnitud de penetración de vehículos de baja potencia en el parque vehicular de Quito, durante el período de estudio, se asume que para el año 2035, la cobertura de este tipo de vehículos se incrementará en un 100% respecto a la calculada en el escenario BAU, desplazando a vehículos de segmentos superiores. Con esta premisa, se obtiene la proyección de cobertura y número de vehículos que se indica en la Tabla 2.77.

Tabla 2.77. Proyección de la cobertura de automóviles de entre 1000 y 1500 cc, escenario EEO.

	2015	2020	2025	2030	2035
Cobertura (MPKM)	3.042	3.442	4.147	6.430	9.970
Número de vehículos	101.402	114.727	138.246	214.340	332.318

(Fuente: elaboración propia)

Incorporación de motocicletas eléctricas

La comercialización de motocicletas eléctricas es aún un tema nuevo en Ecuador y debido a que este tipo de vehículos no necesitan ser matriculados, no se dispone de una estadística de las ventas. Sin embargo, para efecto del presente escenario, se asume que para el año 2035, por lo menos un 10% de la cobertura proyectada para las motos convencionales en el escenario BAU, se desplace hacia las motos eléctricas en el escenario EEO, distribuyéndose dicha incorporación, de manera lineal desde el año 2017 (ver Tabla 2.78).

Para el cálculo del número de unidades necesarias para obtener la cobertura proyectada, se asume que de cada motocicleta eléctrica tiene una ocupación de un pasajero y recorre en promedio 10.000 km al año.

Tabla 2.78. Proyección de la cobertura de motocicletas eléctricas, escenario EEO.

	2015	2020	2025	2030	2035
Cobertura (MPKM)	0	0	6	36	65
Número de vehículos	0	0	593	3.558	6.522

(Fuente: elaboración propia)

Tabla 2.79. Proyección de la cobertura del transporte particular, escenario EEO.

	2015	2020	2025	2030	2035
Automóviles de entre 1000 y 1500 cc.	3.042	3.442	4.147	6.430	9.970
Automóviles de entre 1501 y 2000 cc.	4.426	4.392	4.734	3.166	851
Automóviles de entre 2001 y 2500 cc.	1.233	1.224	1.319	882	237
Automóviles de entre 2501 y 3000 cc.	730	724	781	522	140
Automóviles de más de 3000 cc.	483	479	516	345	93
Automóviles híbridos	105	314	575	1.091	2.070
Automóviles eléctricos	0	3	5	20	80
Motocicletas convencionales	465	461	508	542	587
Motocicletas eléctricas	0	0	6	36	65
TOTAL	10.484	11.038	12.593	13.036	14.093

(Fuente: elaboración propia)

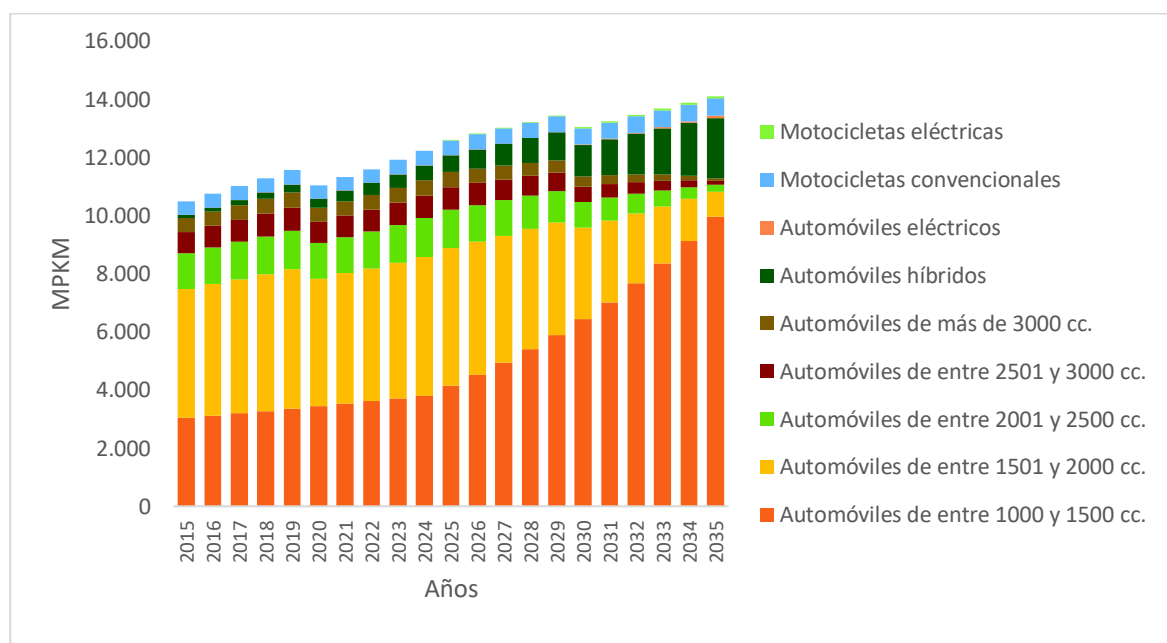


Figura 2.53. Proyección de la cobertura del transporte particular, escenario EEO

(Fuente: elaboración propia)

Tabla 2.80. Proyección del número de vehículos de transporte particular, escenario EEO.

	2015	2020	2025	2030	2035
Automóviles de entre 1000 y 1500 cc.	101.402	114.727	138.246	214.340	332.318
Automóviles de entre 1501 y 2000 cc.	147.530	146.384	157.814	105.544	28.380
Automóviles de entre 2001 y 2500 cc.	41.115	40.796	43.982	29.414	7.909
Automóviles de entre 2501 y 3000 cc.	24.324	24.135	26.020	17.402	4.679
Automóviles de más de 3000 cc.	16.090	15.965	17.212	11.511	3.095
Automóviles híbridos	3.500	10.470	19.183	36.382	69.000
Automóviles eléctricos	0	142	291	1.135	4.420
Motocicletas convencionales	23.250	23.069	24.800	23.553	22.827
Motocicletas eléctricas	0	0	593	3.558	6.522
TOTAL	357.212	375.689	428.141	442.838	479.151

(Fuente: elaboración propia)

2.10.4. Proyección integrada de la cobertura de transporte, escenario EEO

De acuerdo a las premisas del escenario EEO, tanto para el transporte público, como para el transporte particular de pasajeros del DMQ, la cobertura total del servicio de transporte evolucionaría en este escenario como se presenta en la Tabla 2.81 y en la Figura 2.54.

Tabla 2.81. Proyección integrada de la cobertura de transporte, escenario EEO.

	2015	2020	2025	2030	2035
Metro de Quito	0	1.606	2.700	5.184	5.184
Sistema Quito Cables	0	41	140	140	140
Otras troncales SMT	2.039	2.197	2.399	2.795	3.322
Alimentadores SMT	1.270	1.369	1.505	1.775	2.053
Transporte intracantonal	10.262	10.232	9.779	8.837	9.828
Transporte escolar e institucional	1.243	1.339	1.497	1.939	2.512
Taxis	1.192	1.284	1.383	1.490	1.605
Automóviles particulares	10.019	10.577	12.079	12.458	13.441
Motocicletas	465	461	514	578	652
TOTAL	26.490	29.105	31.996	35.195	38.737

(Fuente: elaboración propia)

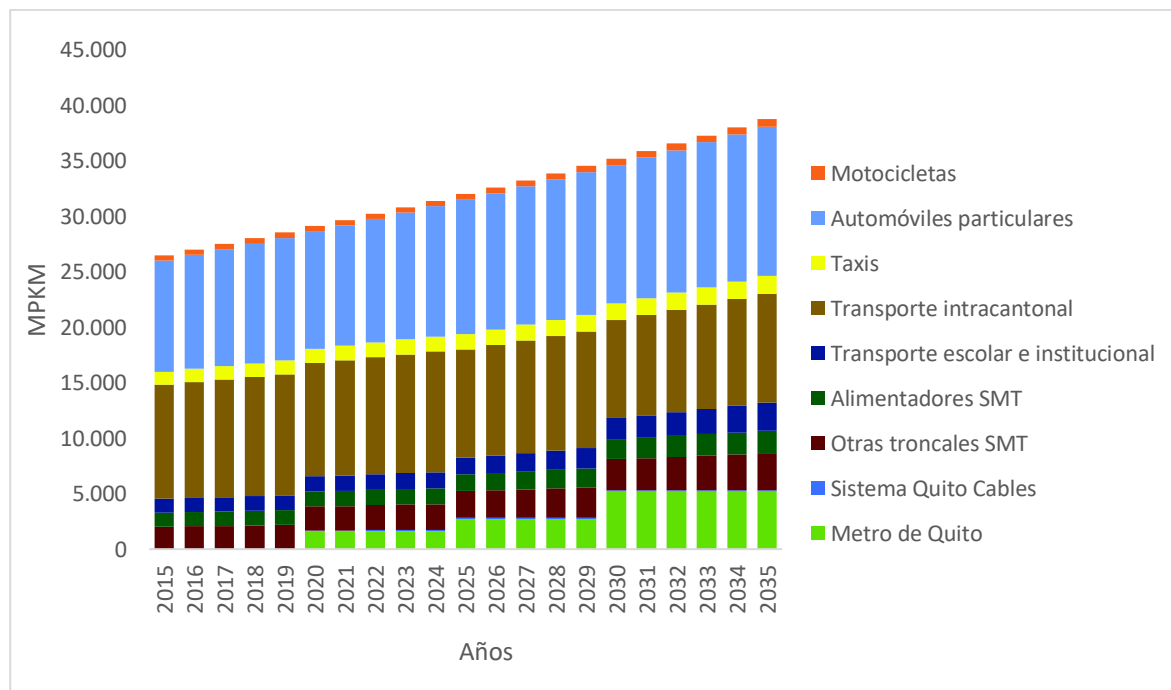


Figura 2.54. Proyección integrada de la cobertura del transporte, escenario EEO

(Fuente: elaboración propia)

2.10.5. Proyección del consumo de energía para el escenario EEO

El consumo de energía total y de las diferentes modalidades de transporte, público y particular, se proyecta en el escenario EEO como se indica en la

Tabla 2.82 y la Figura 2.55.

Tabla 2.82. Proyección del consumo de energía por modalidad, escenario EEO (TJ).

	2015	2020	2025	2030	2035
SMT (incluye Metro y Quito Cables)	689	1.171	1.600	2.270	2.365
Transporte intracantonal	5.008	4.768	4.557	4.118	4.580
Transporte escolar e institucional	328	331	370	479	620
Taxis	3.305	3.560	3.819	4.033	4.270
Automóviles particulares	24.004	24.804	27.781	25.893	23.660
Motocicletas	646	641	706	756	820
TOTAL	33.979	35.274	38.832	37.548	36.315

(Fuente: elaboración propia)

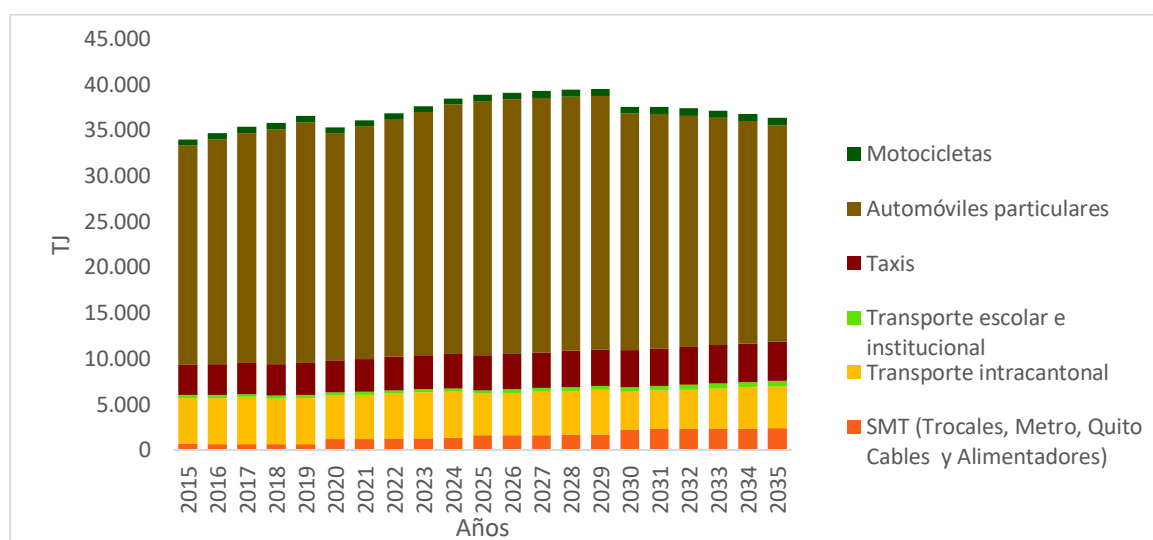


Figura 2.55. Proyección del consumo de energía por modalidad, escenario EEO

(Fuente: elaboración propia)

En la Tabla 2.83 y la Figura 2.56 colocadas a continuación, se puede observar la evolución del consumo de energía por cada fuente de abastecimiento del sector transporte de pasajeros del DMQ, bajo las premisas del escenario EEO.

Tabla 2.83. Proyección del consumo de energía por fuente, escenario EEO (TJ).

	2015	2020	2025	2030	2035
Gasolina	27.954	29.004	32.298	30.647	28.670
Diésel	5.998	5.835	5.728	5.469	6.148
Electricidad	27	436	805	1.433	1.497
TOTAL	33.979	35.274	38.832	37.548	36.315

(Fuente: elaboración propia)

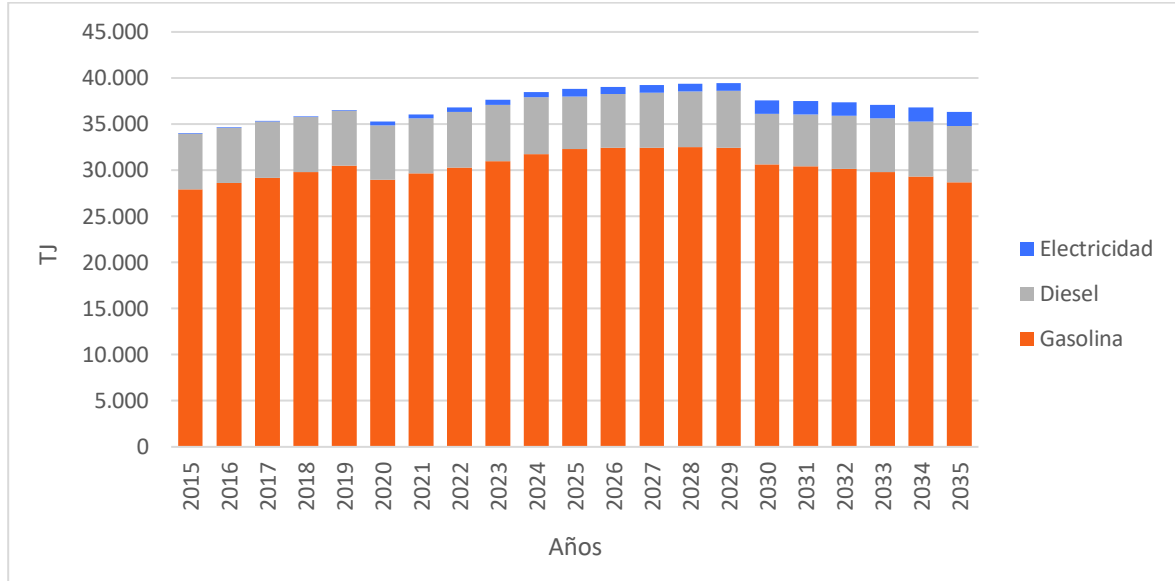


Figura 2.56. Proyección del consumo de energía por fuente, escenario EEO
(Fuente: elaboración propia)

2.10.6. Proyección de las emisiones de GEIs del escenario EEO

De acuerdo a al consumo de energía por fuente y a los factores de emisión de GEIs indicados en el subcapítulo 2.3, bajo las premisas del escenario EEO, las emisiones totales y por fuente, evolucionarían como se muestra en la Tabla 2.84 y la Figura 2.57.

Tabla 2.84. Proyección de las emisiones de GEIs por fuente, escenario EEO (kt de CO₂ eq.).

	2015	2020	2025	2030	2035
Gasolina	2.021	2.097	2.335	2.216	2.073
Diésel	452	440	432	412	464
Electricidad	2	20	28	43	45
TOTAL	2.475	2.556	2.795	2.671	2.581

(Fuente: elaboración propia)

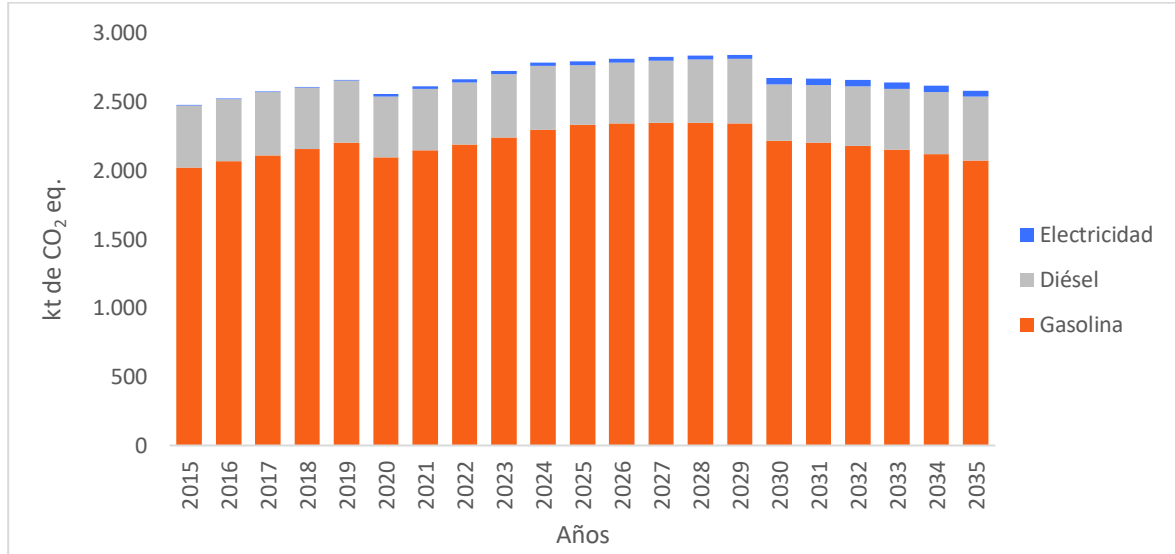


Figura 2.57. Proyección de las emisiones de GEIs por fuente, escenario EEO

(Fuente: elaboración propia)

2.10.7. Proyección del costo de abastecimiento de energía del escenario EEO

Según la evolución de los costos unitarios de las fuentes de energía, indicados en el subcapítulo 2.4, el costo total de abastecimiento de energía para el transporte de pasajeros del DMQ, evolucionaría en el escenario EEO, como se muestra en la Tabla 2.85 y la Figura 2.58.

Tabla 2.85. Proyección del costo de abastecimiento de energía, escenario EEO (MUSD).

	2015	2020	2025	2030	2035
Gasolina	299	291	304	270	236
Diésel	49	64	86	111	169
Electricidad	1	12	21	38	39
TOTAL	349	367	410	419	445

(Fuente: elaboración propia)

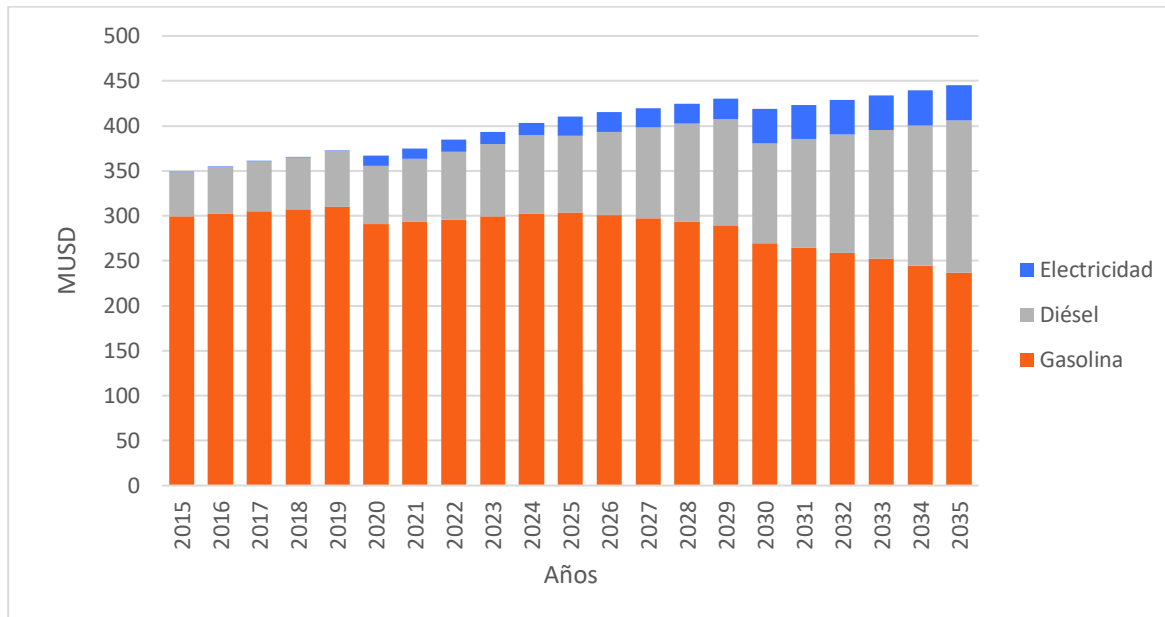


Figura 2.58. Proyección del costo de abastecimiento de energía, escenario EEO

(Fuente: elaboración propia)

2.11. Efecto de la penetración de biogasolina en el escenario EEO (EEO+BIO)

2.11.1. Premisas generales del escenario EEO+BIO

En el Ecuador se consume fundamentalmente dos tipos de gasolina automotriz: una gasolina de 87 octanos denominada “Extra” y una gasolina de 92 octanos denominada “Super”. Sin embargo, en la provincia del Guayas, en el año 2010, se inició el proyecto denominado “Ecopaís”, que consiste en la comercialización de gasolina derivada del petróleo, mezclada con etanol carburante proveniente de la caña de azúcar, con una composición E5 (95% de gasolina y 5% de etanol). Hasta el 2017, este proyecto se expandió a las provincias de Santa Elena, El Oro, Manabí, Esmeraldas, Loja y Zamora Chinchipe, llegando a despacharse en total un aproximado de un millón de galones por día.

La Agenda Nacional de Energía, publicada en el 2017, por el entonces Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos – MICSE, consideraba ampliar la comercialización

de la gasolina Ecopaís⁶ a nivel nacional e incrementar el porcentaje de etanol carburante en la mezcla de un 5% a un 10%, con la idea es llegar a sustituir completamente la comercialización de la gasolina Extra con la biogasolina Ecopaís en todo el territorio nacional (MICSE, 2017).

Si bien los biocombustibles, no generan ningún incremento en la eficiencia energética de los motores de combustión interna, si no por el contrario, debido a su menor poder calorífico respecto a los combustibles convencionales, disminuyen el rendimiento volumétrico en el consumo, sin embargo, si contribuyen a la disminución de emisiones de GEIs, puesto que tienen un menor factor de emisiones de GEIs que los combustibles de origen fósil (ver subcapítulo 2.3, Tabla 2.3).

Las premisas del escenario EEO+BIO, son las mismas del escenario EEO, con la diferencia de que se asume que la gasolina Ecopaís se consumirá en el DMQ a partir del año 2020, sustituyendo a la gasolina Extra, la cual, según el Balance Energético Nacional del año 2015, representó para ese año el 74% de los despachos de gasolina en la Provincia de Pichincha (MICSE, 2016). Este porcentaje de gasolina extra en el consumo total de gasolina, se considerará constante para el DMQ, hasta el año 2019. Para el período 2020 – 2035, en el cual la gasolina Extra es sustituida por la biogasolina Ecopaís, el porcentaje variará de manera de compensar la pérdida en el poder calorífico, de la mezcla debida al contenido de etanol. Este contenido de etanol en la mezcla (en unidades volumétricas), permanecerá en el 5% (E5) hasta el 2024 y pasará al 10% (E10) en el año 2025 y se mantendrá así hasta el final del período de proyección.

Se asume también que el rendimiento energético en cuanto a TJ/MPKM de los vehículos que utilizan gasolina no varía con la mezcla de gasolina y etanol, sin embargo, sí tendrá variación el poder calorífico de la mezcla y sus factores de emisión respecto al uso de gasolina pura. Esta variación tendrá efecto sobre los costos del suministro energético y sobre las emisiones de GEIs de las modalidades de transporte con motores a gasolina.

⁶ Ecopaís es un proyecto piloto que se encuentra actualmente ejecutándose en la ciudad de Guayaquil, que consiste en el expendio de gasolina con una mezcla de 5% de etanol anhidro proveniente de la caña de azúcar y 95% de gasolina base.

El factor calórico para la biogasolina Ecopaís, será calculado como el promedio ponderado del valor correspondiente a sus componentes, de acuerdo a la composición de la mezcla (E5 y E10); y en base a este parámetro se calculará también el factor de emisiones de GEI y el costo unitario de energía. En la Tabla 2.86 se indican estos parámetros para la gasolina convencional, el etanol carburante y la biogasolina Ecopaís.

Tabla 2.86 Parámetros comparativos entre la gasolina convencional y el etanol puros.

Fuente	Factor calórico (TJ/bbl)	Factor emisión GEIs (kt CO ₂ eq./TJ)	Costo unitario en el año base (USD/TJ)
Gasolina pura	0,00520	0,07230	10.712
Etanol puro	0,00370	0,06550	15.041
Ecopaís (E5)	0,00513	0,07205	10.868
Ecopaís (E10)	0,00505	0,07180	11.029

(Fuente: elaboración propia en base a información de OLADE, IPCC y CEPAL)

Los factores calóricos y de emisiones de GEI, tanto de los combustibles puros, como de las mezclas, se consideran constantes, mientras que los costos unitarios de estos combustibles, variarán en el período de proyección como se presenta en la Tabla 2.5 del subcapítulo 2.4.

2.11.2. Proyección del consumo de energía por fuente escenario EEO+BIO

Para calcular el consumo en unidades energéticas de la gasolina y el etanol en el escenario EEO+BIO, hay que tomar en cuenta que la cantidad que se consume de biogasolina Ecopaís tanto en la composición E5, como en la E10, deberá suministrar la misma energía que la gasolina Extra estaba suministrando en el escenario EEO.

A partir del consumo de energía por fuente proyectado en el escenario EEO, los factores calóricos del etanol y la gasolina, el porcentaje de participación de la gasolina extra en el despacho de gasolina total y los porcentajes de mezcla en la biogasolina Ecopaís, considerados en las premisas, se calcula la proyección del consumo de estos combustibles en el escenario EEO+BIO, en unidades volumétricas (kbbbl) y energéticas (TJ), como se presenta en la

Tabla 2.87. Cabe anotar que, dado que no se hace distinción entre el factor calórico de la gasolina Extra y la gasolina Super, el porcentaje del 74% de Extra se aplicará tanto en unidades de volumen (kbbbl), como en unidades energéticas (TJ).

Tabla 2.87 Cálculo del consumo de gasolina y etanol, escenario EEO+Bio

	Escenario	2015	2020	2025	2030	2035
Gasolina total (TJ)	EEO	27.954	29.004	32.298	30.647	28.670
Gasolina Super (26%) (TJ)	EEO	7.268	7.541	8.398	7.968	7.454
Gasolina Extra (74%) (TJ)	EEO	20.686	21.463	23.901	22.679	21.216
Biogasolina Ecopaís (TJ)	EEO+BIO	0	21.463	23.901	22.679	21.216
Biogasolina Ecopaís E5 (kbbbl)	EEO+BIO	0	4.188	0	0	0
Gasolina pura en mezcla E5 (kbbbl)	EEO+BIO	0	3.978	0	0	0
Etanol puro en mezcla E5 (kbbbl)	EEO+BIO	0	209	0	0	0
Biogasolina Ecopaís E10 (kbbbl)	EEO+BIO	0	0	4.733	4.491	4.201
Gasolina pura en mezcla E10 (kbbbl)	EEO+BIO	0	0	4.260	4.042	3.781
Etanol puro en mezcla E10 (kbbbl)	EEO+BIO	0	0	473	449	420
Gasolina pura en mezcla E5 (TJ)	EEO+BIO	0	20.688	0	0	0
Etanol puro en mezcla E5 (TJ)	EEO+BIO	0	775	0	0	0
Gasolina pura en mezcla E10 (TJ)	EEO+BIO	0	0	22.150	21.017	19.661
Etanol puro en mezcla E10 (TJ)	EEO+BIO	0	0	1.751	1.662	1.554

(Fuente: elaboración propia)

Una vez determinados los consumos en unidades volumétricas de gasolina pura y etanol puro en las mezclas E5 y E10, para el escenario EEO+BIO, los consumos en unidades de energía (TJ), para cada una de las fuentes de abastecimiento de energía del transporte de pasajeros en el DMQ, queda como se observa en la Tabla 2.88 y la Figura 2.59.

Tabla 2.88 Consumo de energía para el transporte de pasajeros, escenario EEO+BIO (TJ).

	2015	2020	2025	2030	2035
Gasolina	27.954	28.229	30.547	28.986	27.116
Diésel	5.998	5.835	5.728	5.469	6.148
Electricidad	27	436	805	1.433	1.497
Etanol	0	775	1.751	1.662	1.554
TOTAL	33.979	35.274	38.832	37.548	36.315

(Fuente: elaboración propia)

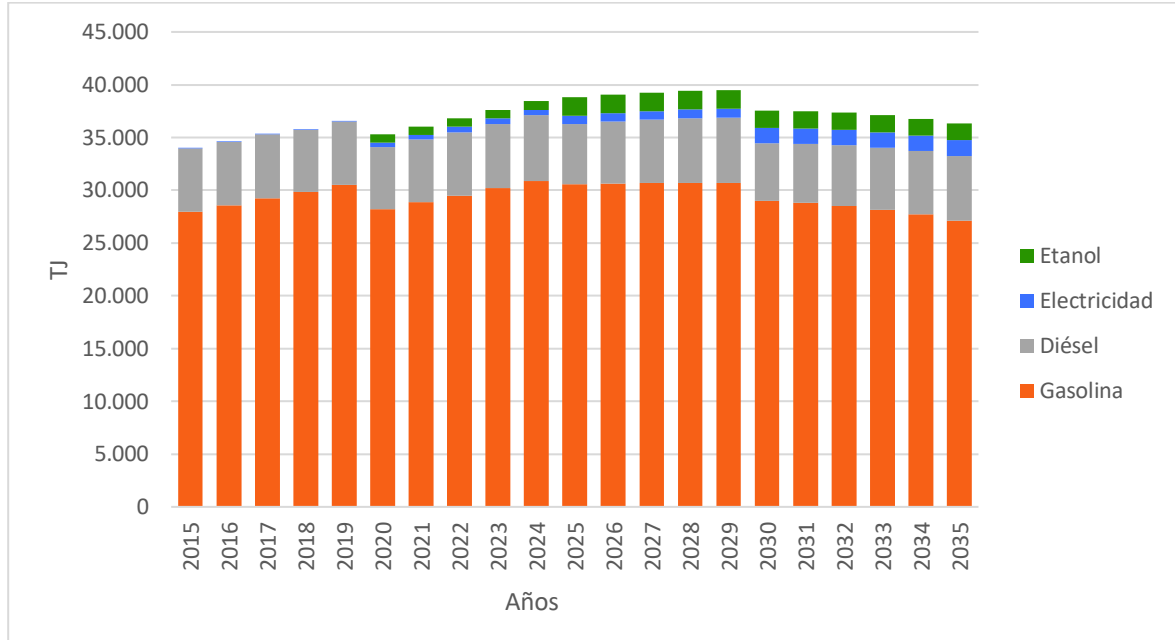


Figura 2.59. Proyección del consumo de energía por fuente, escenario EEO+BIO
(Fuente: elaboración propia)

2.11.3. Proyección de las emisiones de GEIs del escenario EEO+BIO

Una vez contabilizados los consumos de energía por cada una de las fuentes que participan en el abastecimiento de las diferentes modalidades de transporte de pasajeros para el DMQ, según las premisas del escenario EEO+BIO, y utilizando los factores de emisión de cada una de estas fuentes, los cuales se indicaron en el subcapítulo 2.3, las emisiones totales de GEIs resultantes de la simulación de este escenario, se presentan en la Tabla 2.89 y en la Figura 2.60.

Tabla 2.89 Proyección de las emisiones de GEIs, escenario EEO+BIO (kt de CO₂eq.).

	2015	2020	2025	2030	2035
Gasolina	2.021	2.041	2.209	2.096	1.960
Diésel	452	440	432	412	464
Electricidad	2	20	28	43	45
Etanol	0	51	115	109	102
TOTAL	2.475	2.551	2.783	2.660	2.571

(Fuente: elaboración propia)

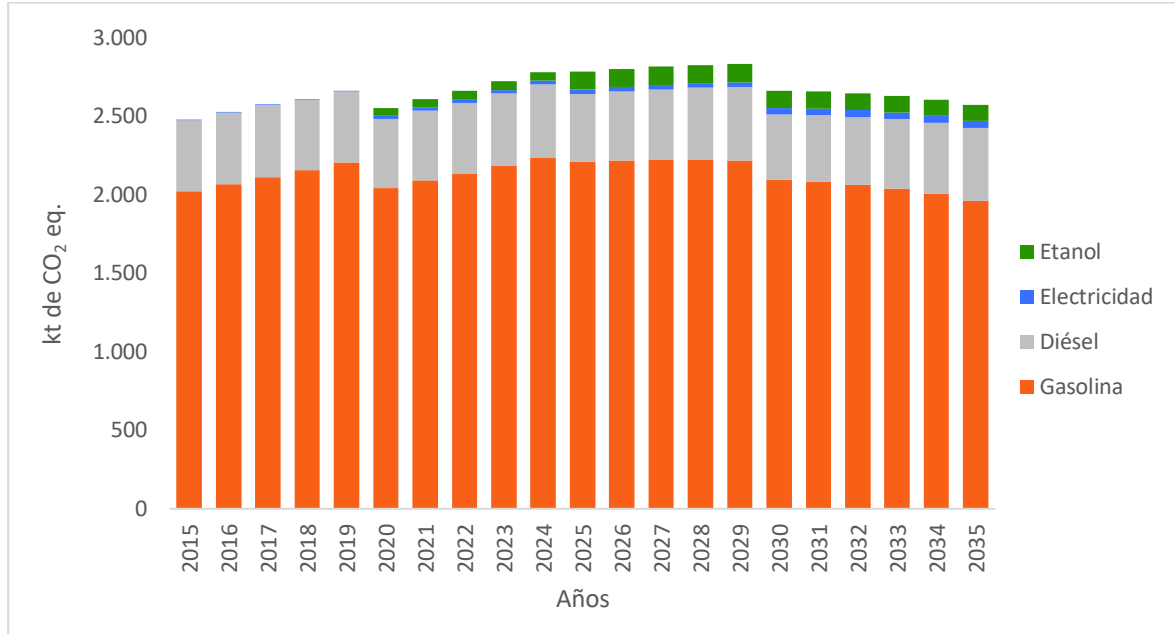


Figura 2.60. Proyección de las emisiones de GEIs, escenario EEO+ BIO
(Fuente: elaboración propia)

2.11.4. Proyección del costo de abastecimiento de energía, escenario EEO+ BIO

De acuerdo a los costos unitarios de los combustibles y la electricidad, definidos en el subcapítulo 2.4 y los consumos de dichas fuentes de energía, resultantes de la simulación del escenario EEO+ BIO, se obtiene la proyección de costos de abastecimiento del transporte de pasajeros en el DMQ, que se observa en la Tabla 2.90 y en la Figura 2.61

Tabla 2.90 Proyección del costo de abastecimiento de energía, escenario EEO+ BIO (MUSD).

	2015	2020	2025	2030	2035
Gasolina	299	283	287	255	224
Diésel	49	64	86	111	169
Electricidad	1	12	21	38	39
Etanol	0	11	23	21	18
TOTAL	349	370	417	425	450

(Fuente: elaboración propia)

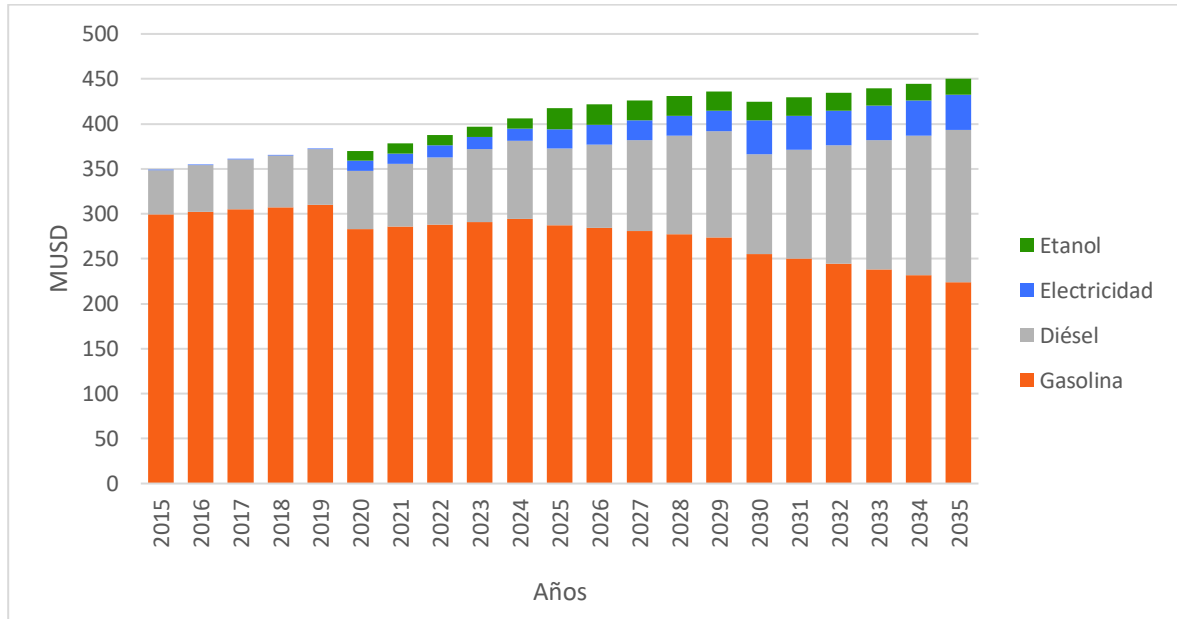


Figura 2.61. Proyección del costo de abastecimiento, escenario EEO+ BIO
(Fuente: elaboración propia)

3. ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis comparativo de resultados

3.1.1. Cobertura del transporte de pasajeros

Como se mencionó a inicios del capítulo 2, una las premisas generales del estudio de prospectiva desarrollado, es que la proyección de la demanda total del servicio de transporte de pasajeros en el DMQ, es igual para todos los escenarios analizados, debido a que dicha proyección corresponde al mismo escenario de desarrollo demográfico, económico y urbano; y las diferencias entre los escenarios radican en las modalidades y fuentes de energía utilizadas para cubrir dicha demanda a lo largo del período de proyección. En la Tabla 3.1 y la Figura 3.1 se puede apreciar dichas diferencias. Cabe anotar que el escenario EEO+Bio no se presenta en esta comparación porque su

Tabla 3.1 Comparativo de la cobertura de transporte por modalidades (MPKM).

	2015	2035 BAU	2035 EEC	2035 EEO
<i>Metro de Quito</i>	0	0	1.606	5.184
<i>Sistema Quito Cables</i>	0	0	115	140
<i>Otras troncales SMT</i>	2.039	2.746	2.746	3.322
<i>Alimentadores SMT</i>	1.270	1.711	1.711	2.053
<i>Transporte intracantonal</i>	10.262	13.821	12.960	9.828
<i>Transporte escolar e institucional</i>	1.243	1.674	1.674	2.512
<i>Taxis</i>	1.192	1.605	1.605	1.605
<i>Automóviles particulares</i>	10.019	16.417	15.666	13.441
<i>Motocicletas</i>	465	762	652	652
TOTAL	26.490	38.737	38.737	38.737

(Fuente: elaboración propia)

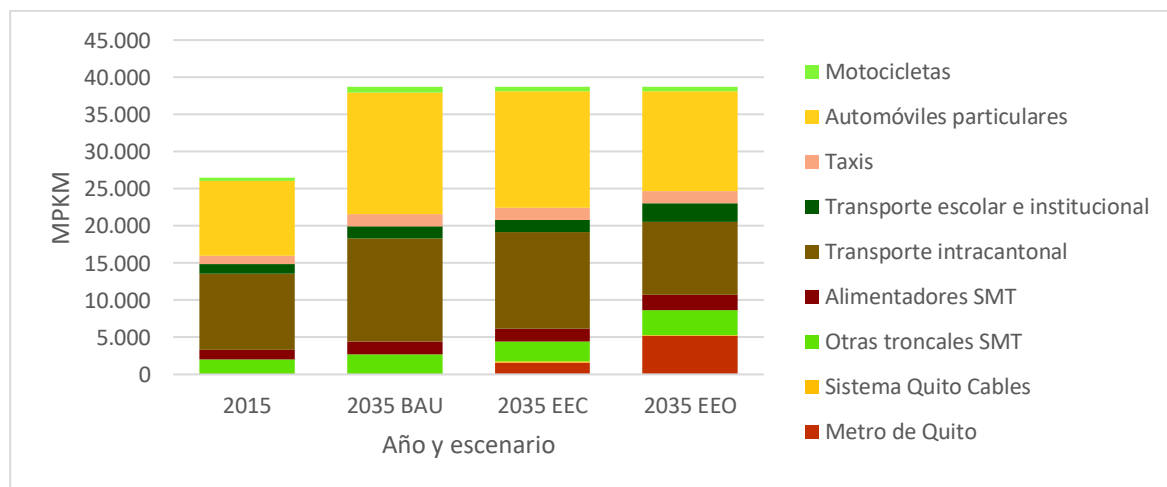


Figura 3.1. Comparativo de la cobertura del transporte de pasajeros por modalidades

(Fuente: elaboración propia)

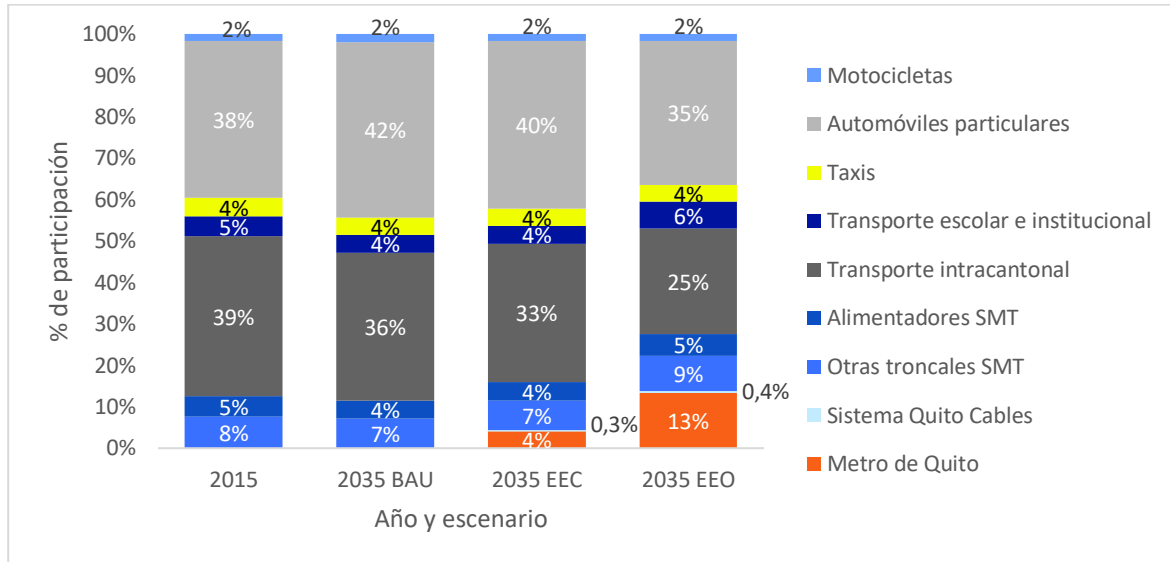


Figura 3.2. Estructura de la cobertura del transporte de pasajeros por modalidades

(Fuente: elaboración propia)

Como se puede observar en Figura 3.2, en el escenario EEC, para el año 2035, existe un descenso en la participación del transporte particular, específicamente de automóviles, debido al aporte del sistema de transporte público masivo como es el Metro de Quito. Este descenso se hace más evidente en el escenario EEO, por la ampliación de dicho sistema y por el incremento en el uso de transporte escolar e institucional.

3.1.2. Consumo de energía

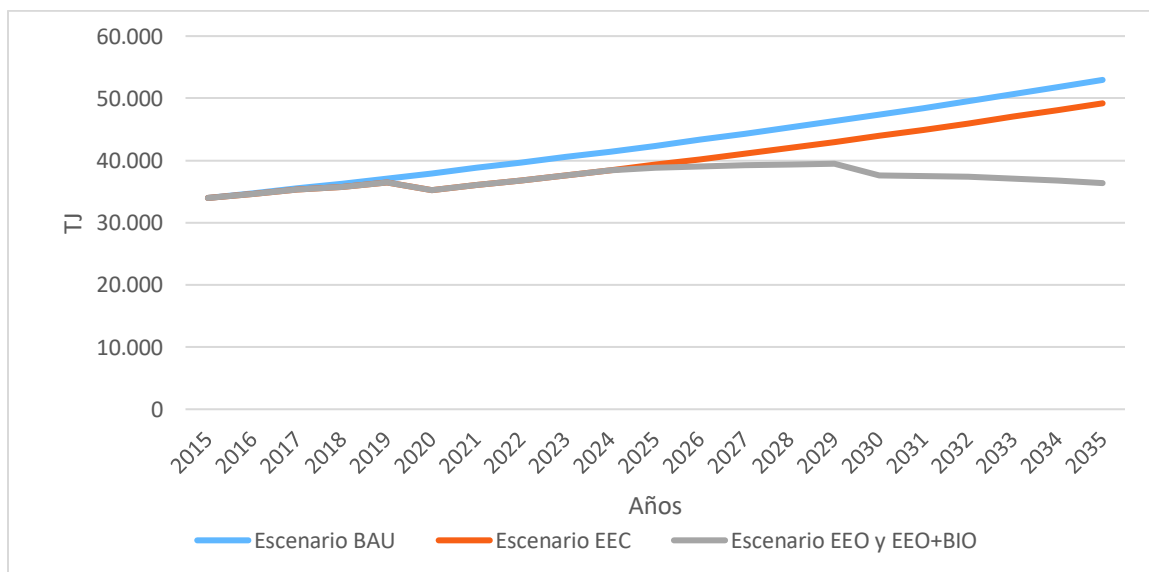


Figura 3.3. Consumos totales de energía por escenario

(Fuente: elaboración propia)

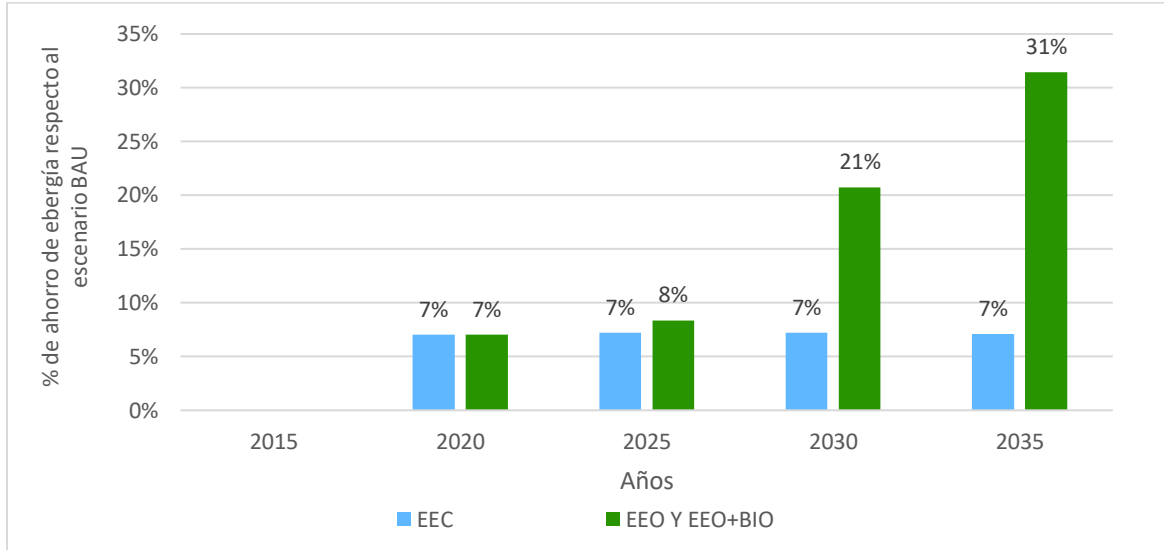


Figura 3.4. Ahorros anuales de en el consumo de energía respecto al escenario BAU
(Fuente: elaboración propia)

Como se observa en la Figura 3.3 los escenarios EEC y EEO, producen ahorros de energía respecto al escenario BAU a partir del año 2020, sin embargo como se puede apreciar en la Figura 3.4, los porcentajes de ahorro anuales se mantienen constantes en el escenario ECC, mientras que en los escenario EEO y EEO+Bio, estos porcentajes progresan hasta alcanzar un 31% en el año 2035.

Como se puede apreciar la Tabla 3.2 y la Figura 3.5, el ahorro en el consumo total de energía logrado en los escenarios EEC y EEO, respecto al escenario BAU, se debe específicamente a la disminución en el consumo de gasolina, debido a la penetración de la electricidad y de las modalidades de transporte público masivo. En el caso del escenario EEO+Bio, existe una cantidad adicional de gasolina desplazada por etanol carburante, aunque no varía el consumo total de energía respecto al escenario EEO.

Tabla 3.2 Consumo de energía por fuente, todos los escenarios (TJ).

	2015	2035 BAU	2035 EEC	2035 EEO	2035 EEO+Bio
<i>Gasolina</i>	27.954	44.842	41.274	28.670	27.116
<i>Diésel</i>	5.998	8.078	7.401	6.148	6.148
<i>Electricidad</i>	27	36	516	1.497	1.497
<i>Etanol</i>	0	0	0	0	1.554
TOTAL	33.979	52.956	49.191	36.315	36.315

(Fuente: elaboración propia)

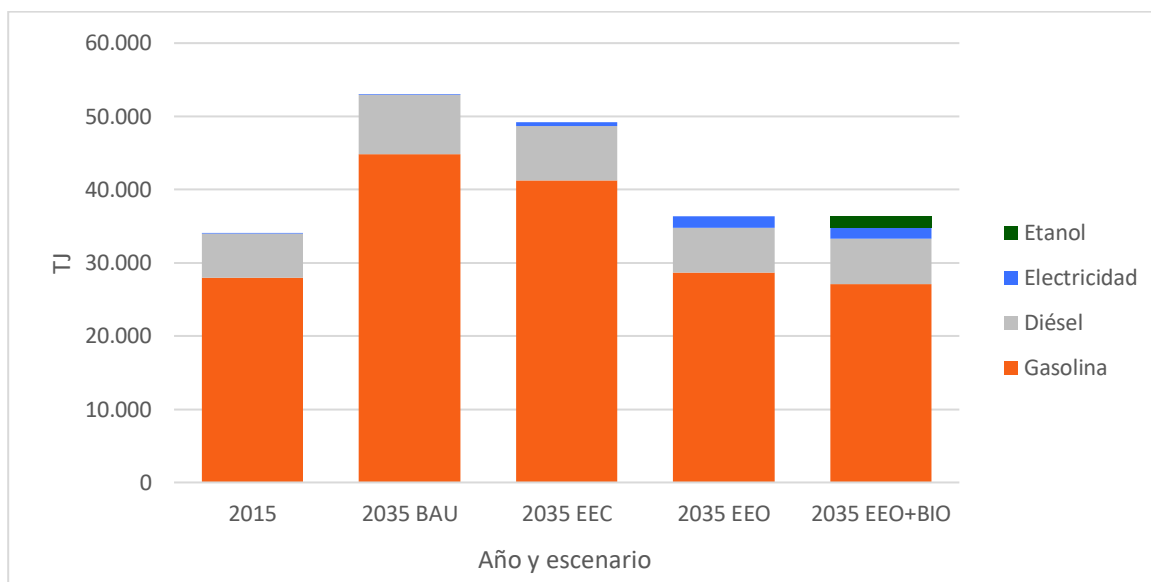


Figura 3.5. Comparativo del consumo de energía por fuente
(Fuente: elaboración propia)

En la Figura 3.6 se puede observar que en el año 2035, la participación porcentual de la gasolina en el consumo de energía se incrementa respecto al año base, para los escenarios BAU y EEC, mientras que en el escenario EEO, esta participación disminuye desplazada por la electricidad y el diésel. En el escenario EEO+Bio, el componente de etanol en la biogasolina Ecopaís, hace que la participación de la gasolina disminuya aún más.

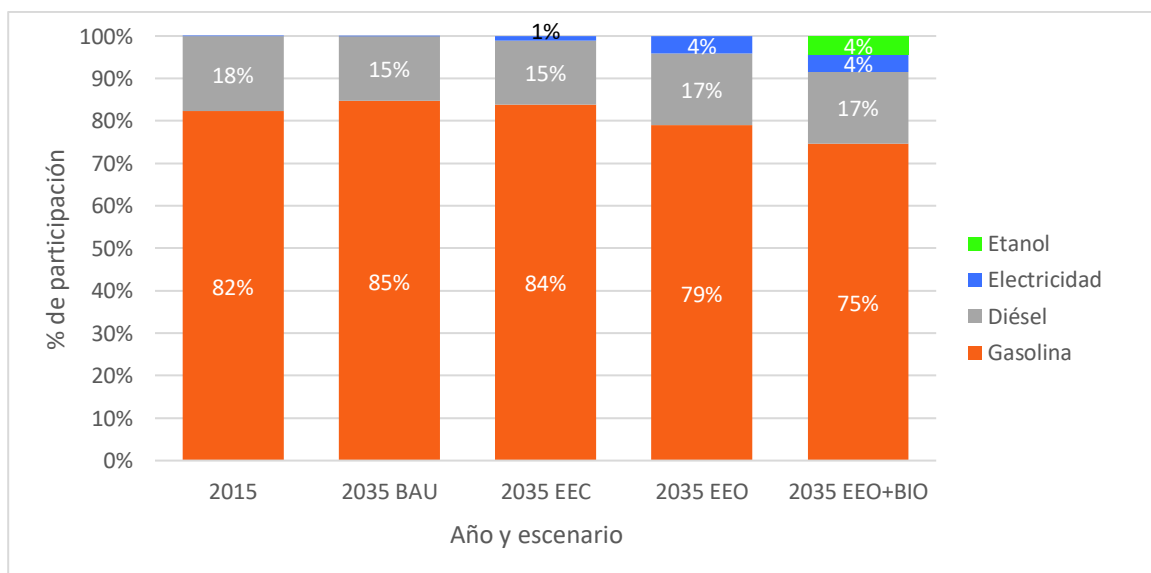


Figura 3.6. Comparativo de la estructura del consumo de energía por fuente
(Fuente: elaboración propia)

El consumo unitario de energía en cada escenario viene dado por la relación entre el consumo total de energía en TJ y la cobertura total en MKMP. Como se observa en la Figura 3.7, el consumo unitario de energía disminuye en los escenarios EEC y EEO con respecto al escenario BAU, haciéndose mucho más evidente esta disminución en el escenario EEO, lo que representa un indicador más explícito de la mejora en la eficiencia energética del sector bajo estudio.



Figura 3.7. Consumo unitario de energía por escenario

(Fuente: elaboración propia)

3.1.3. Emisiones de GEIs

En la Tabla 3.3 y la Figura 3.8, se observa que el escenario EEC, el escenario EEO y el escenario EEO+BIO, producen reducciones en la emisión de GEIs, respecto al escenario BAU, que se inician en el año 2020, con la entrada en operación de los sistemas de transporte público masivo como el Metro de Quito y la influencia de otras medidas de eficiencia energética en el transporte, consideradas en las premisas de dichos escenarios.

Tabla 3.3 Emisiones totales de GEIs por escenario (kt de CO₂ eq.)

	2015	2020	2025	2030	2035
<i>Escenario BAU</i>	2.475	2.762	3.085	3.446	3.852
<i>Escenario EEC</i>	2.475	2.556	2.843	3.177	3.558
<i>Escenario EEO</i>	2.475	2.556	2.795	2.671	2.581
<i>Escenario EEO+BIO</i>	2.475	2.551	2.783	2.660	2.571

(Fuente: elaboración propia)

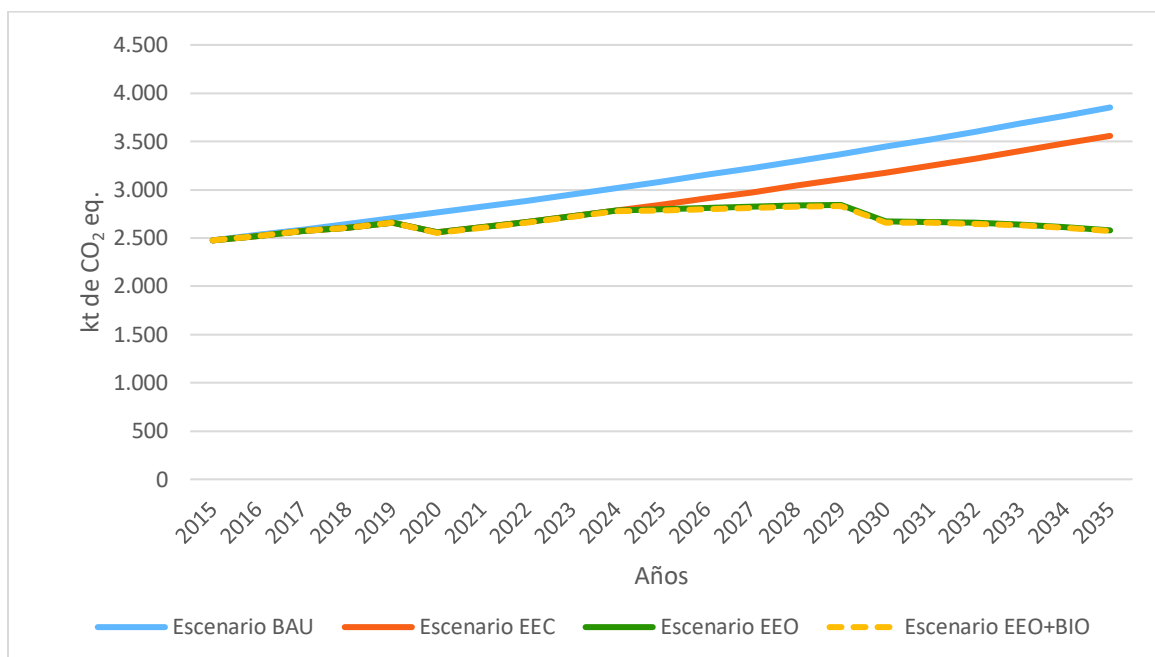


Figura 3.8. Emisiones totales de GEIs por escenario.

(Fuente: elaboración propia)

La evolución de los porcentajes de reducción de emisiones de GEIs por escenario, respecto al escenario BAU, se pueden apreciar en la Figura 3.9. Allí se observa que mientras en el escenario EEC, dicho porcentaje que se hace evidente, a partir del año 2020, se estabiliza alrededor de un 8% para el resto del período de proyección, mientras que con las premisas del escenario eficiente optimista EEO, este porcentaje progresa hasta alcanzar un 22% en el año 2030 y 33% en el año 2035. Es importante resaltar que mientras con el escenario EEC, el porcentaje de reducción al año 2030, estaría muy por debajo de la meta mínima planteada por el Ecuador en sus NDCs (20%), con el escenario EEO, esta meta sería superada en dicho año. También se puede observar que la mejora en el porcentaje de reducción de emisiones que se logra con la introducción de la biogasolina “Ecopais” (escenario EEO+Bio) es muy modesta (alrededor de 1%).

Dividiendo las emisiones totales de GEIs de cada uno de los escenarios simulados (kt de CO₂ eq.), por su correspondiente consumo total de energía (TJ), se obtienen los factores de emisión de GEIs, que se observan en la Figura 3.12 y su respectiva tabla de valores, donde se puede apreciar, que incluso el escenario BAU, mejora este indicador respecto al año base en el periodo de proyección, pero de una forma muy modesta (0,1%), debido a la reducción en el factor de emisiones de la generación eléctrica, mientras que dicha

mejora es mucho más evidente en los escenarios EEC, EEO y EEO+BIO (0,7%, 2,4% y 2,8% respectivamente), como resultado de las medidas de eficiencia energética simuladas.

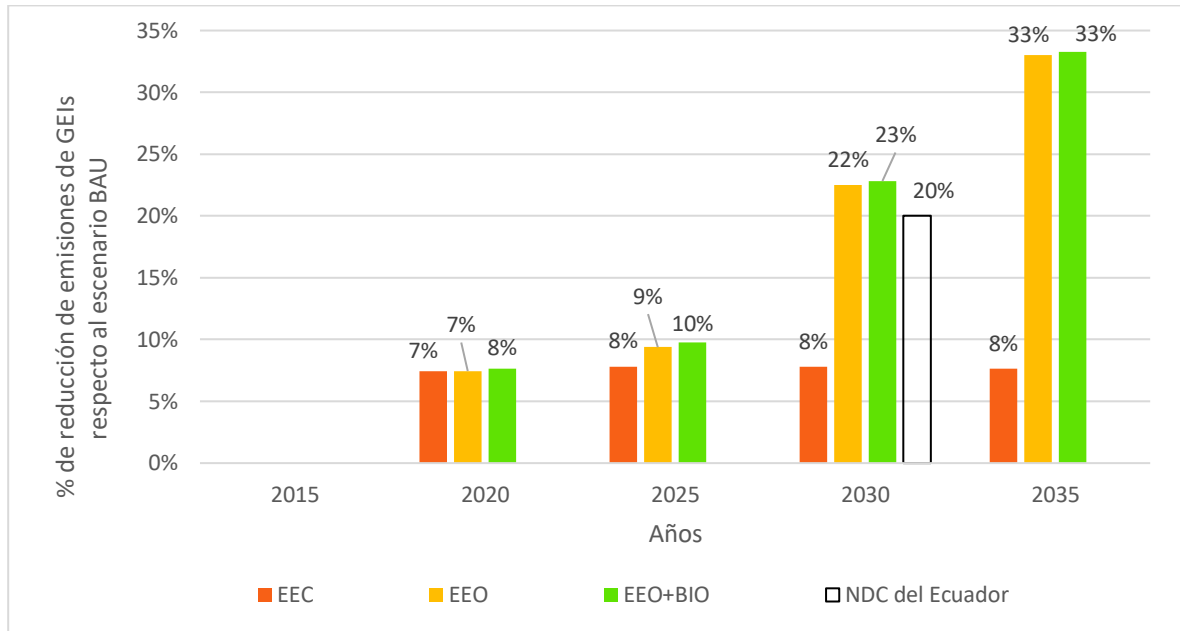


Figura 3.9. Porcentajes de reducción de emisiones de GEIs, respecto al escenario BAU.

(Fuente: elaboración propia)

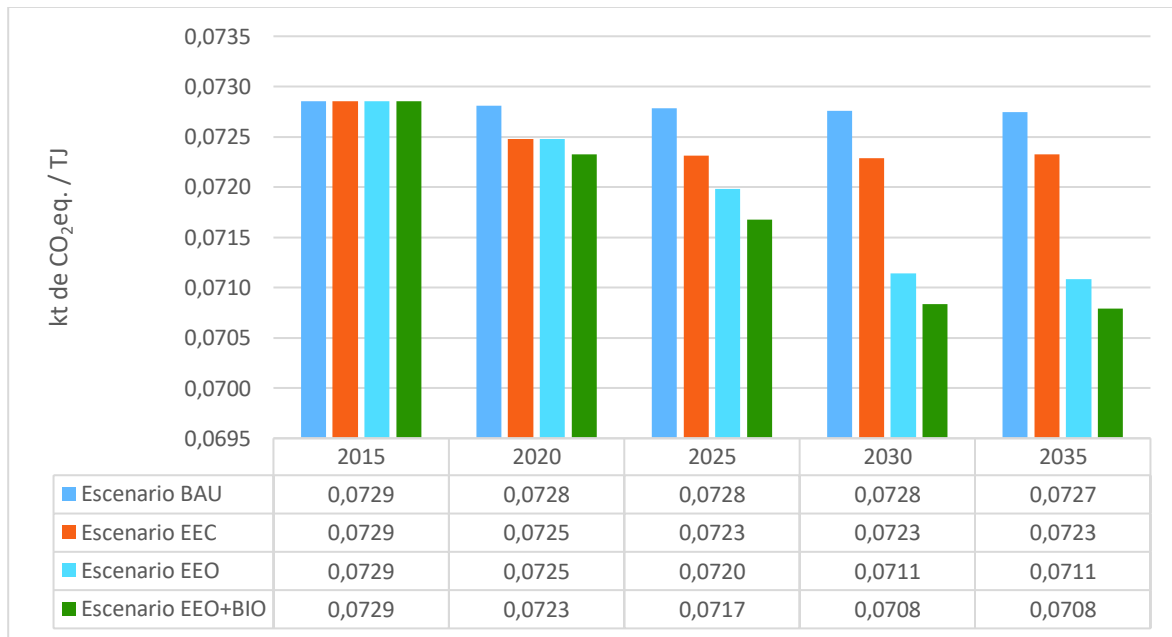


Figura 3.10. Factores de emisión de GEIs por escenario.

(Fuente: elaboración propia)

3.1.4. Costos totales del suministro de energía

Los costos totales del suministro de energía resultan de multiplicar los costos unitarios de cada fuente por su correspondiente consumo energético en cada escenario. En la Figura 3.11, se puede observar dichos costos totales, donde cabe destacar que, si bien los escenarios alternativos producen ahorros económicos respecto al escenario BAU, el escenario EEO+BIO, el cual considera la penetración de la biogasolina “Ecopaís”, resulta ser más costoso que el escenario EEO. Esto se debe al mayor costo unitario del etanol carburante.

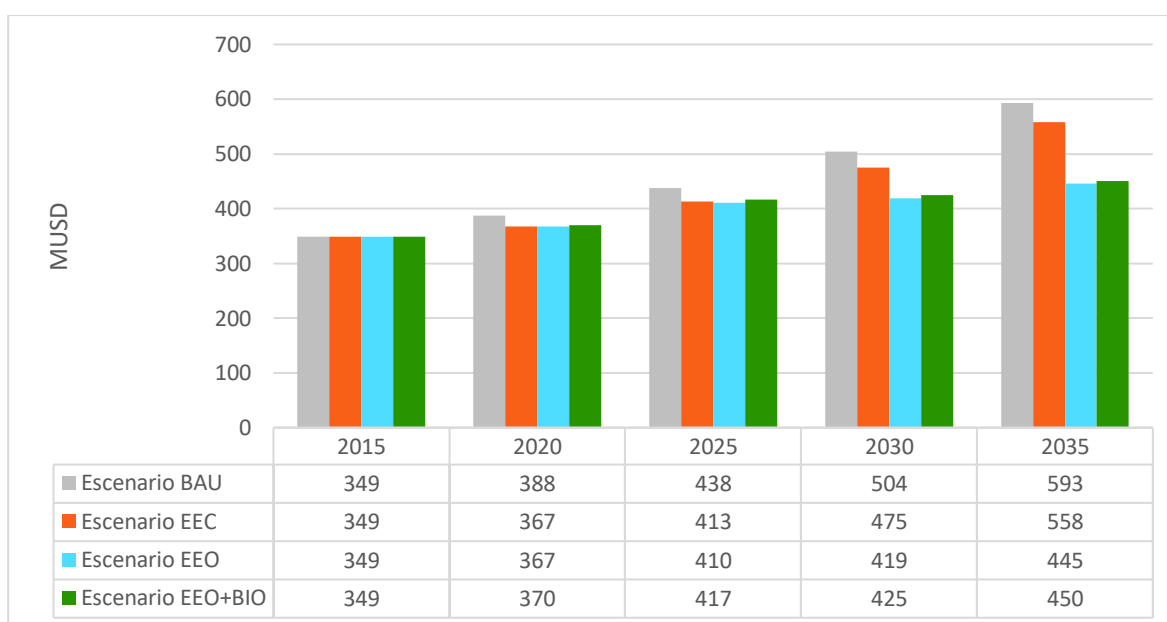


Figura 3.11. Costos del suministro de energía por escenario
(Fuente: elaboración propia)

En términos de costos unitarios de la energía (costo total dividido para el consumo total de energía), como se observa en la Figura 3.12, los escenarios alternativos (EEC, EEO y EEO+BIO), presentan valores superiores a los del escenario BAU. Esto se debe a la disminución de la participación de la gasolina en el consumo total en estos escenarios y a los mayores costos unitarios proyectados del diésel, la electricidad y el etanol, respecto a los de la gasolina (ver subcapítulo 2.4, Tabla 2.5). Es decir que, aunque existe un ahorro económico en valores absolutos en los escenarios eficientes, el costo de cada TJ de energía consumido es mayor en estos escenarios que en el escenario BAU.

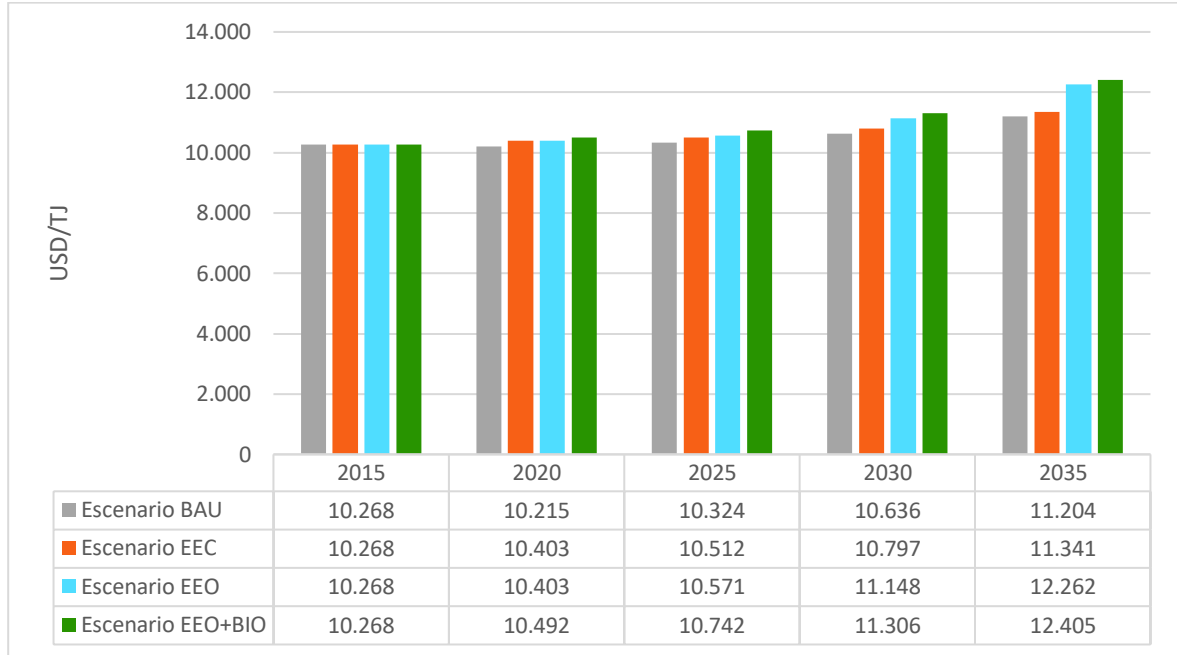


Figura 3.12. Costos unitarios del suministro de energía por escenario
(Fuente: elaboración propia)

3.2. Discusión

Como se puede observar en el análisis comparativo de resultados, el escenario eficiente conservador EEC, cuya premisa más relevante es la entrada en operación de la primera línea del Metro de Quito, produce una disminución en las emisiones de GEIs de alrededor del 8%, en el año 2025, en el cual se mantiene constante hasta el período 2020-2035, mientras que con el escenario alternativo más optimista, considerando medidas más profundas de eficiencia energética y adicionalmente la penetración de la biogasolina “Ecopaís” (escenario EEO+Bio), el porcentaje de reducción para ese año mejora hasta el 10% (ver Figura 3.9). Este resultado podría parecer pesimista al compararlo con los resultados del estudio “NAMA sobre la movilidad urbana en Quito”, cuyo período de proyección es 2014-2025 y donde se estima que al 2025, el porcentaje de reducción de emisiones de CO₂ en el escenario “NAMA” respecto a un escenario BAU, llegue cerca de un 18%. Sin embargo, con la información histórica disponible de los últimos 3 años (2015-2017), se puede ver que algunas premisas consideradas en dicho estudio (NAMA), estarían en la actualidad discontinuadas o por lo menos aplazadas, como por ejemplo la penetración de autobuses híbridos a partir del 2017 y buses eléctricos desde el 2020.

También hay que reflexionar sobre el hecho que, si bien el Metro de Quito en su primera línea transportará en promedio 400.000 pasajeros diarios, no necesariamente tendrá un impacto inmediato sobre en la sustitución del transporte particular, que es la modalidad que produce la mayor cantidad de emisiones y que para que dicho impacto se haga relevante, será necesario incrementar los recorridos y rutas tanto de las líneas troncales como de las líneas alimentadoras. Por estas razones se podría aseverar que las premisas del presente trabajo, para los escenarios optimistas, que aceleran los porcentajes de reducción de emisiones de GEIs desde el año 2025 hacia adelante, permitiendo cumplir con la meta establecida en las NDCs de Ecuador para el año 2030 y seguir mejorando este indicador hasta el final del período de proyección (2035), serían más coherentes y actualizadas que las presentadas en el estudio “NAMA”.

La electricidad adicional requerida para el transporte de pasajeros en el DMQ, al finalizar el período de estudio, bajo las premisas del escenario EEO, asciende a 1.497 TJ, lo que equivale a 416 GWh, que representa aproximadamente un 7% de la energía que generó la Central Coca Codo Sinclair, de 1.500 MW durante el 2017 (5.755 GWh). En otras palabras, se requeriría una central hidroeléctrica de aproximadamente 100 MW para abastecer el consumo de electricidad del transporte de pasajeros del DMQ, al 2035.

Con el escenario más optimista respecto a la reducción de emisiones de GEIs como lo es el escenario EEO+BIO, se estarían evitando 1.281 kt de CO₂ eq. en el año 2035, respecto al escenario BAU. Este valor equivale a cerca del 50% de las emisiones totales del sector de transporte de pasajeros en el DMQ, en el año base.

Aunque los costos unitarios de la electricidad y el diésel resultan ser mayores que el de la gasolina, el mayor uso del transporte público y de los vehículos eléctricos en los escenarios alternativos EEC y EEO, producen ahorros económicos netos en el costo total del suministro de energía que asciende durante todo el período de estudio a 1.041 millones de USD. Con este valor se podría financiar alrededor de un 40% del costo total actual de la primera línea del Metro de Quito.

Respecto al plan de penetración de la biogasolina “Ecopaís” a nivel nacional contemplado en la Agenda Nacional de Energía 2016-2040, se observó en los resultados del estudio, que esta iniciativa combinada con una alta masificación del transporte público y mayor

penetración de la electricidad tanto en el transporte público, como particular, lo que corresponde a las premisas del escenario EEO+BIO, produciría el mayor porcentaje de reducción de emisiones de GEIs en el horizonte de la proyección. Sin embargo, vale la pena recordar que el proyecto “Ecopaís” se concibió en una época cuando el precio internacional del petróleo estaba en uno de sus niveles más altos (cerca de los 100 dólares/barril) y de igual forma los precios de sus derivados como el diésel y la gasolina. Actualmente el precio internacional de la gasolina, por unidad de energía, es más bajo que el del etanol, sin embargo, el utilizar recursos autóctonos como la biomasa para el abastecimiento energético, siempre contribuirá de manera positiva a mejorar la autarquía energética⁷ del País.

⁷ La autarquía energética mide el grado de autosuficiencia de un país para cubrir la demanda interna de energía con recursos naturales propios (OLADE, 2017).

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Como primera conclusión del estudio y en cumplimiento al objetivo general del mismo, se puede manifestar que el plan eficiente y de bajas emisiones de GEIs propuesto para el transporte de pasajeros del DMQ, sería aquel que ejecute las acciones necesarias para hacer realidad cada una de las premisas consideradas en el escenario (EEO+BIO), con el cual no solamente se estaría contribuyendo de manera efectiva al cumplimiento de los NDCs del Ecuador en materia de mitigación al cambio climático en el marco del Acuerdo de París, sino que también se estarían logrando ahorros económicos netos en el abastecimiento de energía para el sector, que pudieren ser destinados a un mayor número de proyectos de asistencia social.
- Si bien algunos de los proyectos contemplados en el plan eficiente y de bajas emisiones, ya se encuentran en ejecución y se espera su entrada en operación dentro del presente quinquenio, como son la construcción del Metro de Quito y el Sistema de Teleférico Urbano, existe una iniciativa que se ha visto rezagada respecto a su materialización como es la masificación del uso de vehículos 100% eléctricos tanto de servicio particular como de servicio público. De acuerdo a las premisas del escenario EEO, un 20% de los buses alimentadores del SMT deberían ser 100% eléctricos en el año 2035 y para ese mismo año deberían estar circulando en Quito alrededor de 4.420 automóviles eléctricos particulares, sin embargo, hasta la fecha de culminación del presente estudio no existía ni un solo bus eléctrico del SMT y las ventas anuales de automóviles eléctricos según la AEADE, están por el orden 20 unidades anuales, por lo que se necesitarían más de 220 años para llegar a la meta planteada como premisa en el escenario EEO.
- Si los precios internacionales de los combustibles continúan bajos y más aún si el precio de la gasolina presenta tendencia decreciente como se consideró en la prospectiva, una eliminación en los subsidios de los combustibles en el Ecuador no ayudaría mucho para incentivar el uso de autos eléctricos, conociendo además que, a niveles de costos del servicio eléctrico, la electricidad tiene un costo unitario mayor que el de los combustibles. En este sentido una política eficaz de incentivo a la masificación de los autos eléctricos podría ser la implementación de un sistema

de subsidio cruzado, es decir aprovechar parte del alto componente impositivo que tiene actualmente la adquisición de vehículos particulares nuevos en el Ecuador, el cual bordea aproximadamente el 40%; y destinarlo a subvencionar el costo de adquisición de los automóviles eléctricos, esto adicionalmente a los incentivos ya anunciados por el Gobierno como es la exoneración del Impuesto a los Consumos Especiales (ICE), la no restricción de movilidad por Pico y Placa para este tipo de vehículos y el trato preferencial respecto a puestos de parqueo.

- Respecto a la limitación de autonomía de los vehículos eléctricos es indispensable emprender en la implementación de las electrolineras como se les ha denominado en el País a las estaciones de recarga de las baterías, las cuales pueden estar ubicadas en las gasolineras o también en parqueaderos públicos y centros comerciales. Este elemento es primordial para asegurar la sustentabilidad del proyecto, ya que de lo contrario, podría ocurrir lo mismo que está ocurriendo actualmente en Bogotá con los taxis eléctricos cuyos propietarios enfrentan dificultades por el abandono del programa de implementación de estaciones de recarga rápida en la ciudad. Por otra parte, afortunadamente la tecnología en la fabricación de baterías para autos eléctricos está en continuo avance y se habla cada vez con mayor frecuencia de baterías de alta capacidad y bajo costo como las baterías de grafeno.
- Adicionalmente a la implementación de los automóviles eléctricos de uso particular, tiene también un impacto muy importante la sustitución de buses convencionales a combustión interna, por buses 100% eléctricos, ya que la eficiencia energética respecto la cobertura de servicio mejora radicalmente (10 veces), Para el caso del servicio público se hace más fácil superar el problema de autonomía, ya que es posible disponer de la suficiente flota de reserva que permita mediante un sistema de relevos mantener la misma frecuencia de servicio de los buses convencionales. Esto sin contar con la posibilidad de introducir buses con tecnologías mucho más avanzadas como los que usan supercapacitores en vez de baterías.
- Como se pudo observar en el subcapítulo 2.4, todavía hasta el 2035, el costo unitario de energía del servicio eléctrico para Quito, sería superior al costo unitario de la gasolina. Aunque existe un ahorro económico neto, en el suministro energético, resultante de la simulación de los escenarios alternativos en el

escenario eficiente, debido a la mejora considerable de eficiencia por el uso de vehículos eléctricos, sería recomendable tratar de disminuir al máximo el costo del suministro eléctrico, cuyo principal componente es el de distribución como se pudo apreciar en la figura 5.3. Esto se podría lograr con la reducción de pérdidas técnicas y no técnicas.

4.2. Recomendaciones

Para la proyección de la demanda del servicio de transporte de pasajeros en el DMQ, se tomaron las tasas de crecimiento para el transporte público y particular calculadas en el estudio “NAMA sobre Movilidad Urbana en Quito, Ecuador” realizado en el año 2014 con período de proyección 2014-2025. Este estudio se basó en la información de la secretaría de movilidad del DMQ, del año 2013 y en la encuesta domiciliaria de movilidad del DMQ del año 2012. Es recomendable actualizar periódicamente este tipo de estudios, incluyendo nuevas encuestas domiciliares, que permitan conocer las variantes tendencias de los requerimientos de movilidad de los ciudadanos de la ciudad capital de Ecuador.

Como se lo mencionó en las conclusiones, para que la premisa de una masificación importante de automóviles 100% eléctricos, se haga realidad, es necesario la implementación de la infraestructura complementaria necesaria para el abastecimiento de energía (electrolineras), cuyo estudio de factibilidad técnica y económica, podría ser tema de un posterior trabajo de titulación en el área de eficiencia energética.

Otro tema importante de investigación que podría llevarse a cabo, es el potencial que tendría el Ecuador para una producción a gran escala de biocombustibles como el etanol y el biodiesel, que permitan desplazar parcialmente el uso de combustibles fósiles como el diésel y la gasolina derivados del petróleo, con las eventuales implicaciones que tendría esta industria en el cambio del uso del suelo y en la seguridad alimentaria del País.

Sería interesante conocer mediante encuestas, cual es el impacto real que tendría la entrada en operación de la primera línea del Metro de Quito y sus futuras ampliaciones, sobre el uso del vehículo particular, pues se ha visto en otros países como Panamá, que la implementación de este tipo de sistema de transporte masivo, no necesariamente ha logrado que disminuyan las ventas y el ingreso a circulación de un cada vez más elevado

número de vehículos particulares, agravando los problemas de congestión en las vías públicas.

Otro tema que se podría abordar en posteriores trabajos, es el balance costo/beneficio de trasladar los actuales subsidios generalizados a los combustibles fósiles como el diésel y la gasolina, hacia una subvención de los costos de adquisición de buses y automóviles eléctricos, de alta gama, que como se mencionó en reiteradas ocasiones durante el desarrollo del presente trabajo, los principales obstáculos para la masificación de estas tecnologías, son sus altos precios de venta y su limitada autonomía.

Si bien en el plan de movilidad del SMT, se contempla que la entrada en funcionamiento del Metro de Quito, desplace parte de la flota de trolebuses, sería recomendable tomar en cuenta que estos últimos constituyen la alternativa más eficiente de transporte de acuerdo a su mínimo consumo específico de energía en términos de TJ/MPKM, por lo tanto se recomienda no reducir, sino más bien ampliar las rutas de trolebuses a lo largo y ancho del DMQ.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] OMS, «Organización Mundial de la Salud,» 25 marzo 2014. [En línea]. Available: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/es/>.
- [2] D. Artes, «DIARIOMOTOR TECMOVIA,» 2 octubre 2012. [En línea]. Available: <http://www.diariomotor.com/tecmovia/2012/10/02/los-limites-de-la-eficiencia-termica-en-motores-gasolina-y-diesel/>. [Último acceso: 20 julio 2016].
- [3] U.S. Department of Energy, «Fuel Economy,» 2016. [En línea]. Available: <http://fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml>. [Último acceso: 19 02 2017].
- [4] OLADE, «Manual de Estadísticas Energéticas de OLADE,» Quito, 2017.
- [5] OLADE, «Manual de Planificación Energética,» Quito, 2017.
- [6] OECD/IEA, «Transport Energy and CO2,» IEA, Paris, 2009.
- [7] AMT, «Registro de la revisión vehicular,» Quito, 2015.
- [8] Municipio del DMQ, «Diagnóstico de la Movilidad en el DMQ,» Quito, 2014.
- [9] CONSULVIAL, «COMO AVERIGUAR POR INTERNET EL KILOMETRAJE RECORRIDO DE UN AUTO MATRICULADO EN QUITO,» Quito, 2013.
- [10] AMT, «Estudio de la Movilidad en Quito,» Quito, 2014.
- [11] Kate Blumberg, ICCT, «Euro VI / EPA 2010 para transportación Limpia,» Washington, 2016.
- [12] A. A. S. La Puerta, «Estudio del Efecto de la Altitud sobre el Comportamiento de Motores de Combustión Interna. Parte 1: Funcionamiento,» Madrid, Bogotá, 2004.
- [13] M. Narváez, «Análisis de la propuesta de exoneración de la medida "Auto Compartido" de la restricción "Pico y Placa",» Quito, 2014.
- [14] EMSD, «Transport - Energy Utilization Index,» Hong Kong, 2017.
- [15] INEC, «Ecuador en Cifras,» Quito, 2017.
- [16] PREZI, «¿Cuántos litros de gasolina se consumen en un año en Colombia?,» Bogotá, 2015.
- [17] EPMMQ, «El proyecto del metro de Quito,» Quito, 2017.
- [18] EPMMOP, «El Proyecto Quito Cables,» Quito, 2017.

- [19] DMQ, «Municipio de Quito busca transformar el sistema del transporte público,» Quito, 2015.
- [20] EPMMOP/EPN, «Diseño Eléctrico del Sistema Teleférico,» Quito, 2016.
- [21] Grütter Consulting AG, «Rendimiento Real de Buses Híbridos y Eléctrico,» Berna, 2015.
- [22] MICSE, «Agenda nacional de Energía 2016-2040,» Quito, 2017.
- [23] IPCC, «Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero,» IPCC, Geneva, 2006.
- [24] MICSE, «Balance Energético Nacional del Ecuador 2016,» Quito, 2016.
- [25] BCE, «Cifras del sector petrolero ecuatoriano No.110-2016,» Quito, 2016.
- [26] Energy Information Administration EIA, «Monthly Prices of the Energy,» Washington DC., 2017.
- [27] ARCONEL, «Costo del Servicio Eléctrico 2015,» Quito, 2016.
- [28] OLADE, «SIEE-OLADE,» OLADE, Quito, 2016.
- [29] J. Crespo, «Propuesta para la implementación de transporte por cable en barrios altos del norte de Quito.,» PUCE, Quito, 2015.
- [30] OLADE, «Manual de Planificación Energética de OLADE,» Quito, 2017.

ANEXOS

ANEXO I. Pasajeros transportados y kilómetros recorridos por el SMT en el año base (2015)

Líneas Troncales

Central Trolebús			
	Pasajeros	kilómetros	IPK
Enero	4.555.079	404.692	11,26
Febrero	4.027.454	346.475	11,62
Marzo	4.698.427	409.190	11,48
Abril	4.865.551	412.928	11,78
Mayo	5.000.887	482.796	10,36
Junio	5.131.458	495.629	10,35
Julio	4.672.882	520.387	8,98
Agosto	4.655.825	460.562	10,11
Septiembre	5.035.849	489.178	10,29
Octubre	5.114.883	494.048	10,35
Noviembre	4.767.518	472.599	10,09
Diciembre	5.071.846	486.060	10,43
TOTAL	57.597.659	5.474.543	10,52

Nororiental Ecovía			
	Pasajeros	kilómetros	IPK
Enero	2.752.234	214.592	12,83
Febrero	2.440.775	194.560	12,55
Marzo	2.914.370	223.055	13,07
Abril	2.904.977	227.296	12,78
Mayo	2.888.239	234.580	12,31
Junio	2.952.475	227.917	12,95
Julio	2.674.559	237.108	11,28
Agosto	2.571.184	229.868	11,19
Septiembre	2.857.946	236.756	12,07
Octubre	2.980.722	236.768	12,59
Noviembre	2.763.424	225.130	12,27
Diciembre	2.815.063	234.285	12,02
TOTAL	33.515.968	2.721.916	12,31

Suroriental			
	Pasajeros	kilómetros	IPK
Enero	1.265.533	249.624	5,07
Febrero	1.107.460	224.057	4,94
Marzo	1.325.361	264.913	5
Abril	1.350.100	265.031	5,09
Mayo	1.372.638	260.972	5,26
Junio	1.376.031	257.876	5,34
Julio	1.217.623	265.403	4,59
Agosto	1.213.909	259.104	4,69
Septiembre	1.348.198	265.148	5,08
Octubre	1.409.023	261.430	5,39
Noviembre	1.320.211	251.825	5,24
Diciembre	1.406.065	265.035	5,31
TOTAL	15.712.152	3.090.417	5,08

Suroccidental			
	Pasajeros	kilómetros	IPK
Enero	2.527.900	162.344	15,57
Febrero	2.206.595	143.486	15,38
Marzo	2.561.948	158.242	16,19
Abril	2.624.166	157.542	16,66
Mayo	2.721.374	162.148	16,78
Junio	2.714.542	168.980	16,06
Julio	2.399.474	179.410	13,37
Agosto	2.455.945	173.768	14,13
Septiembre	2.638.421	170.016	15,52
Octubre	2.720.932	173.782	15,66
Noviembre	2.572.752	163.142	15,77
Diciembre	2.625.144	174.104	15,08
TOTAL	30.769.193	1.986.964	15,49

(Fuente: (EPMT))

Líneas de buses alimentadores del SMT

Central Trolebús			
	Pasajeros	kilómetros	IPK
Enero	1.967.200	389.628	5,05
Febrero	1.684.400	352.020	4,78
Marzo	2.059.000	396.700	5,19
Abril	2.057.900	384.987	5,35
Mayo	3.229.500	821.000	3,93
Junio	3.442.900	827.178	4,16
Julio	3.005.200	859.299	3,5
Agosto	3.021.500	835.816	3,62
Septiembre	3.528.000	830.078	4,25
Octubre	3.527.100	851.801	4,14
Noviembre	3.308.800	826.885	4
Diciembre	3.402.600	853.383	3,99
TOTAL	34.234.100	8.228.776	4,16

Nororiental Ecovía			
	Pasajeros	kilómetros	IPK
Enero	1.033.110	431.293	2,4
Febrero	906.635	392.282	2,31
Marzo	1.113.500	437.744	2,54
Abril	1.154.590	418.708	2,76
Mayo	1.211.777	428.088	2,83
Junio	1.228.811	425.785	2,89
Julio	1.105.328	451.480	2,45
Agosto	1.065.754	413.963	2,57
Septiembre	1.221.856	414.862	2,95
Octubre	1.215.869	424.090	2,87
Noviembre	1.143.272	421.823	2,71
Diciembre	1.163.002	445.719	2,61
TOTAL	13.563.504	5.105.837	2,66

Suroriental			
	Pasajeros	kilómetros	IPK
Enero	732.100	494.579	1,48
Febrero	618.200	452.735	1,37
Marzo	772.700	503.313	1,54
Abril	760.200	483.420	1,57
Mayo	784.800	492.732	1,59
Junio	792.100	490.960	1,61
Julio	675.600	516.804	1,31
Agosto	683.900	505.480	1,35
Septiembre	805.100	497.999	1,62
Octubre	804.600	505.361	1,59
Noviembre	755.400	483.392	1,56
Diciembre	778.200	513.182	1,52
TOTAL	8.962.900	5.939.955	1,51

Suroccidental			
	Pasajeros	kilómetros	IPK
Enero	3.422.100	1.444.242	2,37
Febrero	2.967.900	1.300.698	2,28
Marzo	3.561.400	1.454.170	2,45
Abril	3.656.160	1.410.738	2,59
Mayo	3.708.200	1.447.724	2,56
Junio	3.784.900	1.437.211	2,63
Julio	3.329.800	1.500.828	2,22
Agosto	3.332.200	1.458.981	2,28
Septiembre	3.696.600	1.442.259	2,56
Octubre	3.847.800	1.472.987	2,61
Noviembre	3.585.800	1.395.033	2,57
Diciembre	3.686.300	1.456.741	2,53
TOTAL	42.579.160	17.221.611	2,47

(Fuente: (EPMT))


ANEXO II. Kilometraje y recorridos diarios de las cooperativas de transporte intracantonal

No.	Cooperativa o empresa (Intracantonal urbano)	km/día	Recorridos/día
1	Compañía de Transportes 21 de Julio Cía. Ltda.	4.331	866
2	Lujo Express Águila Dorada S.A.	10.055	600
3	Alborada Compañía de Transportes S.A	90.813	6.956
4	Compañías: Atahualpa	6.559	576
5	Cooperativa de Transporte de Buses Urbanos Bellavista	4.799	330
6	Cooperativa de Transportes Calderón	23.286	1.450
7	Transportes Carcelén Tarqui C.A.	24.272	1.646
8	Compañía de Transportes en Colectivos Quito C.A. Colectrans	5.417	288
9	Consortio Empresarial del Transporte C.A. "Conetra"	6.914	784
10	Compañía de Transporte Urbano Distrito del Sur Disutran S.A.	16.758	1.028
11	Compañía de Transportes Ecuatoriana Transheroica S.A.	14.452	954
12	Transportes Guadalajara S.A.	10.293	536
13	Cooperativa de Transporte de Pasajeros Juan Pablo II	21.131	1.444
14	Latina Transporte Selectivo y Turismo Latitransursa S.A.	19.746	1.708
15	Cooperativa Llano Grande	13.005	680
16	Empresa de Transportes Lujoturissa S.A.	8.463	340
17	Cooperativa de Transportes Mariscal Sucre	16.628	630
18	Transporte de Pasajeros Metrotrans Transpasmetrotrans S.A.	15.342	612
19	Cooperativa de Transporte "Turis-Monserrat"	12.040	648
20	Compañía Nacional de Transportes y Comercio S.A.	3.834	252
21	Cooperativa de Transporte Urbano en Buses Paquisha	13.701	1.402
22	Colectivos de Transporte Urbano Pichincha C.A.	14.202	1.368
23	Compañía de Transportes "Quiteño Libre S.A."	12.568	874
24	Cooperativa de Transporte de Colectivos "Quito"	18.629	640
25	Compañía de Transportes Quitumbe S.A.	12.730	790
26	Compañía de Transporte Ejecutivo Rapitrans S.A	6.287	256
27	Transportes Reino de Quito S.A.	11.854	882
28	Compañía de Transporte Urbano "Trans San Carlos"	18.650	1.040
29	Compañía de Transportes San Cristóbal S. A.	11.530	808
30	Compañía de Transporte San Francisco de Chillotallo S.A.	23.569	1.740
31	Cooperativa de Transporte San Juan de Calderón	8.983	480
32	Compañía Servicio Ecuatoriano de Transporte Secuatrans C.A.	8.114	720
33	Empresa de Transporte Urbano Seis de Diciembre S.A	14.780	486
34	Compañía Semgyllfor	7.546	510
35	Compañía de Servicios Múltiples 15 de Agosto "Serviagosto S.A."	6.442	320
36	Servicio de Transporte Mariscal Sucre S. A. Setramas	9.353	544
37	Cooperativa de Transporte de Pasajeros Transur Siete de Mayo	7.409	416

38	Transalfa SA	12.364	696
39	Transhemisféricos Compañía de Transportes Hemisféricos S.A.	35.217	1.312
40	Compañía Transportes Latinos Translatinos SA	8.298	384
41	Compañía Transmetrópoli S.A.	2.144	256
42	Compañía de Transporte de Pasajeros "Cóndor Mirador S.A."	1.464	196
43	Compañía de Transporte Planeta "Transplaneta" S. A.	36.484	2.060
44	Compañía Transporsel C.A.	18.777	906
45	Transportes Zeta "Transzeta C.A."	3.380	284
46	CATUV Compañía Anónima de Transportes Urbanos Victoria	10.682	736
47	Compañía Vencedores de Pichincha S.A.	17.888	1.232
	TOTALES DIARIOS	681.186	43.666
No.	Cooperativa o empresa (Intracantonal combinado)	km/día	Recorridos/día
1	Transportes San José de Cocotog CA	4.563	374
2	Compañía Expreantisana S.A.	11.220	340
3	Flota Pichincha	10.455	280
4	Compañía de Transportes San Sebastián de Pifo S. A.	17.007	372
5	Compañía de Transportes Puenbo Trapuca C.A.	26.038	642
6	Reina del Quinche	27.248	918
7	Termas Turis	18.401	760
8	Compañía Transportes La Floresta Transfloresta S.A.	2.400	320
9	Cooperativa de Transportes Tumbaco	27.066	998
10	Cooperativa de Transporte de Pasajeros Yaruquí	31.506	746
	TOTALES DIARIOS	175.903	5.750
No.	Cooperativa o empresa (Intracantonal combinado)	km/día	Recorridos/día
1	Compañía de Transporte Comunitario "Kinara Express S.A."	2.420	240
2	Sotranor	4.178	524
	TOTALES DIARIOS	6.599	764

(Fuente: elaboración en base a información proporcionada por la Secretaría de Movilidad del DMQ).

ANEXO III. Planillas de demanda eléctrica del proyecto Quito Cables

 <p>EMPRESA ELÉCTRICA QUITO S.A</p>	<p>ESTUDIO DE CARGA Y DEMANDA MÁXIMA UNITARIA</p>	<p>Hoja 1 de 1 Fecha : 06-JUN-2013</p>																																													
<p>NOMBRE DEL PROYECTO : PROYECTO QUITO CABLES ESTACION COLINAS DEL NORTE</p> <p>ACTIVIDAD TIPO : COMERCIAL</p> <p>LOCALIZACIÓN : B16</p> <p>USUARIO TIPO : RESIDENCIAL</p> <p>NÚMERO DE USUARIOS : 1</p>																																															
<p>PLANILLA PARA LA DETERMINACIÓN DE DEMANDAS UNITARIAS DE DISEÑO :</p>																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">REGLÓN</th> <th colspan="2">APARATOS ELÉCTRICOS Y DE ALUMBRADO</th> <th rowspan="2">FFUN (%)</th> <th rowspan="2">CIR (W)</th> <th rowspan="2">FSn (%)</th> <th rowspan="2">DMU (W)</th> </tr> <tr> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>CANTIDAD</th> <th>Pn (W)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Motor Sistema Principal</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">100</td> <td style="text-align: right;">1.225.000</td> <td style="text-align: center;">100</td> <td style="text-align: right;">1.225.000</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td>Ventilador 1</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">100</td> <td style="text-align: right;">27.000</td> <td style="text-align: center;">100</td> <td style="text-align: right;">27.000</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td>Ventilador 2</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">100</td> <td style="text-align: right;">27.000</td> <td style="text-align: center;">100</td> <td style="text-align: right;">27.000</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4</td> <td>Bomba Lubricadora</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">100</td> <td style="text-align: right;">3.000</td> <td style="text-align: center;">100</td> <td style="text-align: right;">3.000</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right;">T O T A L E S :</td> <td></td> <td style="text-align: right;">1.282.000</td> <td></td> <td style="text-align: right;">1.282.000</td> </tr> </tbody> </table>			REGLÓN	APARATOS ELÉCTRICOS Y DE ALUMBRADO		FFUN (%)	CIR (W)	FSn (%)	DMU (W)	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	Pn (W)	1	Motor Sistema Principal	1	100	1.225.000	100	1.225.000	2	Ventilador 1	1	100	27.000	100	27.000	3	Ventilador 2	1	100	27.000	100	27.000	4	Bomba Lubricadora	1	100	3.000	100	3.000	T O T A L E S :				1.282.000		1.282.000
REGLÓN	APARATOS ELÉCTRICOS Y DE ALUMBRADO			FFUN (%)	CIR (W)					FSn (%)	DMU (W)																																				
	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	Pn (W)																																												
1	Motor Sistema Principal	1	100	1.225.000	100	1.225.000																																									
2	Ventilador 1	1	100	27.000	100	27.000																																									
3	Ventilador 2	1	100	27.000	100	27.000																																									
4	Bomba Lubricadora	1	100	3.000	100	3.000																																									
T O T A L E S :				1.282.000		1.282.000																																									
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Factor de Potencia FP :</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">0,80</td> <td style="width: 30%;">Factor de Demanda FDM = DMU (W) / CIR (W)</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">1,00</td> </tr> <tr> <td>DMU (KVA) :</td> <td style="text-align: center;">1.602,50 KVA.</td> <td>Factor de Diversificación</td> <td style="text-align: center;">1,00</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Demanda Requerida :</td> <td style="text-align: center;">1.602,50</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Calculo del transformador 90% demanda</td> <td style="text-align: center;">1.442,25</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Capacidad de transformador :</td> <td style="text-align: center;">1.500,00 kVA</td> </tr> </table>			Factor de Potencia FP :	0,80	Factor de Demanda FDM = DMU (W) / CIR (W)	1,00	DMU (KVA) :	1.602,50 KVA.	Factor de Diversificación	1,00			Demanda Requerida :	1.602,50			Calculo del transformador 90% demanda	1.442,25			Capacidad de transformador :	1.500,00 kVA																									
Factor de Potencia FP :	0,80	Factor de Demanda FDM = DMU (W) / CIR (W)	1,00																																												
DMU (KVA) :	1.602,50 KVA.	Factor de Diversificación	1,00																																												
		Demanda Requerida :	1.602,50																																												
		Calculo del transformador 90% demanda	1.442,25																																												
		Capacidad de transformador :	1.500,00 kVA																																												
<p>Observaciones :</p> <p>Se necesita transformador trifásico de 1.500,00 kVA 690/400V</p>																																															



EMPRESA
ELÉCTRICA
QUITO S.A

ESTUDIO DE CARGA Y
DEMANDA MÁXIMA UNITARIA

Hoja 1 de 1
Fecha : 06-JUN-2013

NOMBRE DEL PROYECTO : PROYECTO QUITO CABLES ESTACION COLINAS DEL NORTE
ACTIVIDAD TIPO : COMERCIAL
LOCALIZACIÓN : B16
USUARIO TIPO : COMERCIAL
NÚMERO DE USUARIOS : 1

PLANILLA PARA LA DETERMINACIÓN DE DEMANDAS UNITARIAS DE DISEÑO :

REGLÓN	APARATOS ELÉCTRICOS Y DE ALUMBRADO		Pn (W)	FFUJN (%)	CIR (W)	Fsn (%)	DMU (W)
	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD					
1	Iluminación y fuerza Estación	1	55.000	100	55.000	100	55.000
2	Freno 1kW	1	1.000	100	1.000	80	800
3	Bomba 1kW freno	1	1.000	100	1.000	90	900
4	Motor 1kW garage	1	1.000	100	1.000	100	1.000
5	UPS 15kVA	1	15.000	101	15.150	80	12.120
TOTALES:					73.150		69.820

Factor de Potencia FP: Factor de Demanda FDM = DMU (W) / CIR (W)
 DMU (KVA): KVA Factor de Diversificación
 Demanda Requerida :
 Calculo del transformador 90% demanda
 Capacidad de transformador : KVA

Observaciones :

Se necesita transformador trifásico de 75,00 KVA 220/1270V