

**Contratación Directa No. 2010CD-1544-PROV**  
**Servicios Profesionales en Economía**

**Implicaciones económicas, ambientales, institucionales, de  
inversión y de política, de un sistema de transporte integrado a la  
Red Eléctrica Nacional  
(Informe Final)**

**Autores**

**Francisco Sancho**  
**Luis Rivera**

**Noviembre 2010**

## Contenidos

<b>1</b>	<b>PRESENTACIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>PRINCIPALES FUENTES DE SOBRE TRANSPORTE ELÉCTRICO.....</b>	<b>9</b>
2.1	ESTUDIOS Y PUBLICACIONES NACIONALES.....	9
2.2	ESTUDIOS Y PUBLICACIONES INTERNACIONALES.....	13
2.3	ORGANIZACIONES DEL SECTOR PÚBLICO.....	19
2.4	PROCESO DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN REQUERIDA.....	20
2.5	ORGANIZACIONES DEL SECTOR PRIVADO.....	21
2.6	LIMITACIONES DE INFORMACIÓN.....	21
<b>3</b>	<b>VARIABLES BASE PARA LA EVALUACIÓN DE ESCENARIOS.....</b>	<b>23</b>
3.1	CRECIMIENTO DE LA ECONOMÍA.....	24
3.2	CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN.....	28
3.3	COMPOSICIÓN DE LA FLOTA VEHICULAR.....	28
<b>4</b>	<b>ESTIMACIÓN DE LA FLOTA VEHICULAR.....</b>	<b>30</b>
4.1	AUTOS PARTICULARES.....	30
4.2	MOTOCICLETAS.....	33
4.3	TRANSPORTE PÚBLICO.....	34
4.4	TRANSPORTE DE CARGA.....	35
4.5	LÍNEA BASE DE LA FLOTA VEHICULAR TOTAL.....	36
4.6	LÍNEA BASE DE CONSUMO DE COMBUSTIBLES.....	39
4.7	LÍNEA BASE DE CONSUMO POR TIPO DE FLOTA.....	42
<b>5</b>	<b>ESCENARIOS DE TRANSPORTE ELECTRICO.....</b>	<b>45</b>
5.1	ESCENARIO 1. HÍBRIDOS, TRENES ELÉCTRICOS Y AUTOS ELÉCTRICOS.....	45
5.2	ESCENARIO 2. SUSTITUCIÓN TOTAL DE FLOTA DE COMBUSTIÓN.....	49
5.3	ESCENARIO 3. TRENES ELÉCTRICOS Y SUSTITUCIÓN TOTAL DE FLOTA DE COMBUSTIÓN.....	53
5.4	ESCENARIO 4. INTRODUCCIÓN DE RUTAS INTERSECTORIALES.....	54
<b>6</b>	<b>EVALUACIÓN ECONOMICA Y AMBIENTAL.....</b>	<b>56</b>
6.1	COSTOS DIRECTOS.....	57
6.1.1	<i>Adquisición del Vehículo.....</i>	<i>57</i>
6.1.2	<i>Costos de Mantenimiento.....</i>	<i>58</i>
6.1.3	<i>Precios de los combustibles.....</i>	<i>59</i>
6.2	COSTO INDIRECTOS: EXTERNALIDADES.....	65
6.2.1	<i>Costo por Salud.....</i>	<i>65</i>

6.2.2	Costo Cambio Climático.....	69
6.2.3	Contaminación Sónica.....	69
6.2.4	Limpieza de edificios .....	70
6.2.5	Disposición de Baterías.....	71
6.2.6	Disposición de Aceites.....	72
<b>7</b>	<b>EVALUACIÓN DE ESCENARIOS DE TRANSPORTE ELECTRICO .....</b>	<b>73</b>
7.1	ESCENARIO 1. HÍBRIDOS, TRENES ELÉCTRICOS Y AUTOS ELÉCTRICOS.....	74
7.2	ESCENARIO 2. SUSTITUCIÓN TOTAL DE FLOTA DE COMBUSTIÓN.....	77
7.3	ESCENARIO 3. TRENES ELÉCTRICOS Y SUSTITUCIÓN TOTAL DE FLOTA DE COMBUSTIÓN.....	80
7.4	ESCENARIO 4. INTRODUCCIÓN DE RUTAS INTERSECTORIALES .....	83
<b>8</b>	<b>SENSIBILIZACIÓN DEL COSTO DE CAPITAL Y PRECIO DE COMBUSTIBLES.....</b>	<b>86</b>
8.1	COSTO DE CAPITAL .....	86
8.2	TARIFAS ELÉCTRICAS.....	87
8.3	PRECIOS DEL PETRÓLEO.....	88
<b>9</b>	<b>ESCENARIO RECOMENDADO .....</b>	<b>89</b>
<b>10</b>	<b>NECESIDADES DE INVERSION PARA EL ICE ANTE DEMANDA POR FLOTA ELECTRICA .....</b>	<b>89</b>
10.1	DEMANDA DE POTENCIA .....	89
10.2	DEMANDA DE ENERGÍA .....	92
10.3	CURVA DE CARGA .....	92
10.4	CALIDAD DE LA ENERGÍA APORTADA POR LOS VEHÍCULOS.....	96
10.4.1	<i>Infraestructura requerida para recarga de vehículos eléctricos.</i> .....	96
10.5	SISTEMA DE RECARGA Y DESCARGA INTELIGENTE .....	98
<b>11</b>	<b>LINEAMIENTOS DE POLÍTICA PARA EL DESARROLLO DEL TRANSPORTE ELÉCTRICO.....</b>	<b>99</b>
<b>12</b>	<b>REQUERIMIENTOS INSTITUCIONALES PARA EL DESARROLLO DEL SECTOR TRANSPORTE INTEGRADO CON EL SISTEMA ELÉCTRICO .....</b>	<b>107</b>
<b>13</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>112</b>

## Ilustraciones

Ilustración 1. Mercado de Vehículos Eléctricos: Mapa Tecnológico, 2005-2015.....	14
Ilustración 2. Tasa de crecimiento del PIB, 2010-2050.....	26
Ilustración 3. Proyección del PIB Real, 2010-2050.....	27
Ilustración 4. Proyección del PIB Per Cápita en Dólares, 2010-2050.....	27
Ilustración 5. Proyección de Población, 2010-2050.....	28
Ilustración 6. Proporción de Personas por Vehículo en países de la OCDE.....	31
Ilustración 7. Producto per Cápita en países de la OCDE.....	32
Ilustración 8. Proyección de Flota de Vehículos Particulares, 2010-2050.....	32
Ilustración 9. Proyección de Flota de Motocicletas, 2010-2050.....	33
Ilustración 10. Proyección de Flota de Transporte Público, 2010-2050.....	34
Ilustración 11. Proyección de Flota de Transporte de Carga, 2010-2050.....	36
Ilustración 12. Composición porcentual de la Flota, 2010 - 2050.....	37
Ilustración 13. Flota Total Proyectada según tipo de Combustible, 2010-2050.....	38
Ilustración 14. Antigüedad de la Flota Actual y de la Flota Renovada.....	40
Ilustración 15. Consumo Proyectado de Combustibles, 2010-2050.....	42
Ilustración 16. Consumo Proyectado Flota Vehículos Particulares, 2010-2050.....	42
Ilustración 17. Consumo Proyectado Flota Vehículos Livianos, 2010-2050.....	43
Ilustración 18. Consumo Proyectado Flota Vehículos Pesados, 2010-2050.....	43
Ilustración 19. Consumo Proyectado Flota Autobuses, 2010-2050.....	44
Ilustración 20. Consumo Proyectado Flota Taxis, 2010-2050.....	44
Ilustración 21. Consumo Proyectado Flota Motocicletas, 2010-2050.....	45
Ilustración 22. Reducción de Combustibles en Acciones del Escenario 1.....	48
Ilustración 23. Consumo proyectado por combustible en Escenario 1.....	49
Ilustración 24. Trayectoria Proyectada de Vehículos según Combustible.....	51
Ilustración 25. Reducción de Combustibles en Acciones del Escenario 2.....	52
Ilustración 26. Consumo proyectado por combustible en Escenario 2.....	52
Ilustración 27. Reducción de Combustibles en Acciones del Escenario 3.....	53
Ilustración 28. Consumo proyectado por combustible en Escenario 3.....	54
Ilustración 29. Reducción de Combustibles en Acciones del Escenario 4.....	55
Ilustración 30. Consumo proyectado por combustible en Escenario 4.....	55

Ilustración 31. Precio del Petróleo: Histórico y Proyectado .....	59
Ilustración 32. Precio de la Gasolina: Histórico y Proyectado .....	61
Ilustración 33. Precio del Diesel: Histórico y Proyectado .....	62
Ilustración 34. Tarifa Residencial Proyectada .....	63
Ilustración 35. Proyección Alternativa de la Tarifa Residencial Promedio.....	87
Ilustración 36. Línea Base de Proyección de Precios del Petróleo .....	88
Ilustración 37. Expansión de la Oferta y Demanda Eléctricas. En MW.....	90
Ilustración 38. Expansión de la Oferta y Demanda ante Escenario. En MW .....	91
Ilustración 39. Demanda y Oferta de Energía.....	92
Ilustración 40. Curva de Carga con Escenario y sin Manejo de Demanda al 2021 .....	93
Ilustración 41. Curva de Carga de Vehículos Eléctricos sin Manejo de Demanda .....	93
Ilustración 42. Curva de Carga con Escenario y sin Manejo de Demanda al 2021 .....	94
Ilustración 43. Curva de Carga con Escenario y con Manejo de Demanda.....	94
Ilustración 44. Curva de Carga con Escenario, Manejo de Demanda y Soporte al 2021 .	95
Ilustración 45. Distribución del Soporte de Vehículos Eléctricos a la Red .....	95

## Tablas

Tabla 1. Estudios sobre el Sector Energético y el Sector Transporte para Costa Rica.....	11
Tabla 2. Principales Hitos en Mercado de Vehículos Eléctricos Híbridos .....	16
Tabla 3. Literatura Clave en Mercado de Vehículos Eléctricos e Híbridos.....	18
Tabla 4. Personas del Sector Privado Contactadas .....	21
Tabla 5. Flota Vehicular Histórica, 1989-2007 .....	29
Tabla 6. Situación del parque Vehicular en el 2010 según tipo.....	30
Tabla 7. Resultados del Ajuste del Modelo de Vehículos Particulares .....	30
Tabla 8. Resultados del Ajuste del Modelo de Motocicletas.....	33
Tabla 9. Resultados del Ajuste del Modelo de Transporte Público .....	34
Tabla 10. Distribución de Transporte Público entre Autobuses y Taxis, INS 2010.....	35
Tabla 11. Resultados del Ajuste del Modelo de Transporte de Carga.....	35
Tabla 12. Distribución de Transporte de Carga entre Liviana y Pesada, INS 2010 .....	36
Tabla 13. Estructura Proyectada de la Flota Vehicular, 2010-2050 .....	37
Tabla 14. Recorrido Promedio al Año de la Flota Vehicular (Km).....	39
Tabla 15. Programa de Reducción de Recorrido al año, 2015-2050 .....	39
Tabla 16. Rendimiento de la Flota Vehicular .....	40
Tabla 17. Rendimiento Observado y Proyectado, 1990-2050 .....	41
Tabla 18. Programa de mejora en rendimiento, 2015-2050.....	41
Tabla 19. Parámetros de proyección tecnologías de vehículos híbridos y eléctricos. ....	50
Tabla 20. Costos Directos y Externalidades a Valorar .....	56
Tabla 21. Cálculo de precios promedio de vehículos .....	57
Tabla 22. Costo de Vehículos Hidrocarbureados, Híbridos y Eléctricos .....	58
Tabla 23. Variables Estimación Costos Baterías Vehículo Hidrocarbureado .....	58
Tabla 24. Variables Estimación Costos Baterías Vehículo Eléctrico .....	59
Tabla 25. Variables para Estimar Costos por Lubricantes.....	59
Tabla 26. Resultados de la Regresión Precio de la Gasolina respecto Precio del Petróleo .....	60
Tabla 27. Resultados de la Regresión Precio del Diesel respecto Precio del Petróleo .....	61
Tabla 28. Resultados de la Regresión Tarifa Residencial Promedio respecto al PIB.....	62

Tabla 29. Proyección de Tarifa Promedio Residencial.....	63
Tabla 30. Precios Proyectados de los Combustibles.....	64
Tabla 31. Factores de emisión para contaminantes nocivos a la salud. (Cifras en Kg/Ton de combustible).....	65
Tabla 32. Emisiones de fuentes móviles excluyendo GEI.....	66
Tabla 33. Emisiones de fuentes móviles excluyendo GEI.....	66
Tabla 34. Costo por internamiento promedio GAM calculados en el 2002 .....	67
Tabla 35. Días perdidos por incapacidad por IRA.....	67
Tabla 36. Pérdida de productividad por días perdidos.....	67
Tabla 37. Total de Pérdida por Efecto en la Salud .....	68
Tabla 38. Prorrateo del costo de morbilidad.....	68
Tabla 39. Exceso de emisiones por contaminante crítico .....	68
Tabla 40. Costo unitario de la contaminación que provoca IRA .....	69
Tabla 41. Factores de Emisiones por Tipo de Combustible .....	69
Tabla 42. Costos Indirectos por Ruido Vehicular.....	70
Tabla 43. Costo de Limpieza de Edificios por Emisiones Vehiculares.....	71
Tabla 44. Variables para Costos por Mitigar la Contaminación por Baterías. ....	72
Tabla 45. Costos anuales por deterioro del ambiente por baterías .....	72
Tabla 46. Variables para Calcular los Costos por Contaminación por Aceites Anual por Vehículo Hidrocarburado.....	73
Tabla 47. Costos por Contaminación por Aceites Lubricantes Anual por Vehículo.....	73
Tabla 48. Resultado Costo Beneficio Comparativo.....	74
Tabla 49. Resultado Costo Beneficio Escenario I. ....	74
Tabla 50. Resultado Análisis Económico en Detalle Escenario I.....	75
Tabla 51. Resultado Análisis Económico-Ambiental Escenario I.....	76
Tabla 52. Resultado Costo Beneficio Escenario II. ....	77
Tabla 53. Resultado Análisis Económico en Detalle Escenario II. ....	78
Tabla 54. Resultado Análisis Económico- Ambiental Escenario II. ....	79
Tabla 55. Resultado Costo Beneficio Escenario III.....	80
Tabla 56. Resultado Costo Beneficio Detallado Escenario III. ....	81
Tabla 57. Resultado Análisis Económico-Ambiental Escenario III. ....	82

Tabla 58. Resultado Costo Beneficio Escenario IV.....	83
Tabla 59. Resultado Costo Beneficio Detallado Escenario IV.....	84
Tabla 60. Resultado Económico- Ambiental en Detalle Escenario IV.....	85
Tabla 61. Resultado Costo-Beneficio I.....	86
Tabla 62. Resultado Costo-Beneficio II.....	86
Tabla 63. Resultado Costo-Beneficio III.....	87
Tabla 64. Resultado Costo-Beneficio IV.....	88
Tabla 65. Resultado Costo-Beneficio V.....	89
Tabla 66. Resultado Costo-Beneficio Escenario Recomendado.....	89
Tabla 67. Involucramiento Institucional para el Desarrollo del Transporte Eléctrico....	108



## **1 PRESENTACIÓN**

Este es el informe final de la consultoría DSE-ICE No. 2010CD-1544-PROV, para evaluar las implicaciones económicas, ambientales, institucionales, de inversión y de política, si Costa Rica integrara su sistema de transporte con el sistema eléctrico basado en fuentes renovables, para el periodo 2015-2050. El objetivo de este informe es ofrecer los resultados totales de la consultoría, las implicaciones de inversión para el sector eléctrico y recomendaciones de política que se desprende del estudio.

## **2 PRINCIPALES FUENTES DE SOBRE TRANSPORTE ELÉCTRICO**

Un paso central para realizar el estudio es la revisión de las principales fuentes de información y de la literatura más relevante tanto a nivel del país como internacional, para partir de una base sólida sobre el estado del arte del conocimiento en el tema del transporte eléctrico.

### **2.1 ESTUDIOS Y PUBLICACIONES NACIONALES**

Se identificaron diversos estudios relacionados con el tema del sector transporte y el transporte eléctrico en particular. Estas fuentes de información son importantes ya que constituyen la línea base y estado actual de conocimiento sobre el tema a nivel nacional, lo que representa el punto de partida para realizar el presente trabajo. Dentro de los principales trabajos destacan:

*Estudio de Oferta y Demanda de Transportes de la Gran Área Metropolitana.* Realizado bajo el marco del PRU-GAM y la Unión Europea, por LCR Logística S.A. Informe final de agosto del 2007. Este trabajo es el único de su tipo identificado en el país. Desarrolla un modelo de demanda de transporte para el Gran Área Metropolitana (GAM), basado en herramientas informáticas de modelación, con base en cifras oficiales y una encuesta a 14,000 familias sobre variables de transporte. El estudio presenta un mapeo del sistema de transporte de la GAM, con diversos indicadores sobre flota, recorridos, medios, perfil de demanda de las familias, entre otros.

Estudio de Factibilidad Técnico, Legal, Financiero y Ambiental para Financiamiento y Gerenciamiento para la Concesión del Proyecto Tren Eléctrico Metropolitano Costa Rica. Realizado por el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT) y ENGEVIX. Varios Tomos. Agosto 2009. Este trabajo presenta las estimaciones económicas, sociales y ambientales del proyecto Tren Eléctrico Metropolitano (TREM), el cual formaría parte del sistema de transporte eléctrico nacional a futuro. El trabajo ofrece estimaciones sobre el impacto del TREM en el sistema de transporte así como en la organización del sistema urbano como un todo.

*Costa Rica-Sector Energía. Hacia un nuevo Modelo Energético para nuestro país.* Teófilo de la Torre, Ministerio de Ambiente; Energía y Telecomunicaciones (MINAET). Julio del 2010. Este trabajo presenta los principales aspectos de la situación energética nacional, con diversos escenarios proyectados varias décadas hacia el futuro. Ofrece un detalle sobre posibles vías a seguir dentro de una visión de largo plazo, dentro de las cuales se incorpora el transporte eléctrico (vehículos híbridos y eléctricos) como una opción de reducción del consumo de derivados del petróleo.

*Iniciativa Privada para la Concesión del Sistema Ferroviario de Costa Rica y sus Puntas Logísticas.* Grupo Hispano Costarricense de Logística. Julio del 2008. Este trabajo presenta los impactos económicos estimados por la propuesta de un proyecto de rehabilitación y operación del sistema ferroviario nacional de Costa Rica (manteniendo el derecho de vía para cualquier otra ampliación o modificación futura del ferrocarril) y el desarrollo de terminales logísticas conexas con el transporte a los puertos en el Pacífico y el Atlántico. Se propone crear una cadena logística para el transporte y distribución nacional e internacional de mercancías con origen/destino Costa Rica y su comercio exterior con base en el tren interoceánico.

*National Economic, Environment and Development Study for Climate Change.* Opciones de Mitigación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Costa Rica: Hacia la Carbono Neutralidad en el 2021. L. Pratt, L. Rivera y F. Sancho. INCAE, MINAET, FUNDECOR. Abril del 2010. Este estudio desarrolla un análisis de opciones y costos de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. El sector transporte es

desarrollado tomando en cuenta diversas posibles intervenciones y sus efectos. Para desarrollar el análisis se contó con insumos de la Dirección Sectorial de Energía. Estos son punto de partida para el presente trabajo. Se abordan varias de las intervenciones en cuanto al transporte eléctrico (vehículos eléctricos y eléctricos híbridos, el proyecto TREM y de puntas logísticas) y con relación a una mayor eficiencia del sistema de transporte público, como su integración modal y medidas de descongestionamiento. Estos insumos de trabajo se complementan y enriquecen en este trabajo, dando énfasis al impacto del transporte eléctrico.

Otros estudios relacionados con temas energéticos y del sector transporte han sido identificados. Algunos de los más importantes se describen en la siguiente tabla 1:

**Tabla 1. Estudios sobre el Sector Energético y el Sector Transporte para Costa Rica**

<b>Documento</b>	<b>Temas Abordados</b>
Avance Trimestral del Programa Institucional Subprograma de Transportes. Departamento de Transporte, CNFL. Año 2009.	Rendimientos de vehículos eléctricos e híbridos de la CNFL. Costos de operación.
Análisis del Impacto por la Introducción de una Flotilla de Vehículos Eléctricos en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional. Iván Montes Gómez. Tesis de Licenciatura, Universidad Fidélitas. Año 2009.	Modelo de sustitución. Vehículos híbridos. Vehículos eléctricos. Proyección de tecnologías. Demanda de generación eléctrica. Reducción de gases efecto invernadero. Reducción de consumo de hidrocarburos. Propuesta para introducción controlada. Análisis de costos. Infraestructura y condiciones técnicas para recarga.
Diagnóstico Energético del Sector Transporte y Proyección del Consumo de Combustibles y Biocombustibles y Emisiones GEI en Centroamérica al año 2020. Francisco Figueroa. CEPAL. Año 2009.	Biocombustibles como opción. Penetración de biocombustibles. Calidad del aire y emisiones de efecto invernadero. Eficiencia energética y penetración de biocombustibles. Ordenamiento del parque y obras de infraestructura vial. Mejoramiento de la flota vehicular. Recomendaciones mejoramiento transporte público en su eficiencia energética. Recorrido por tipo de vehículo. Consumo por tipo de vehículo. Reducción de contaminantes. Regulaciones sobre combustibles. Regulaciones sobre emisiones vehiculares. Rendimientos por tipo de vehículo. Indicadores por tipo de motor, rendimientos, recorrido y consumo.

<b>Documento</b>	<b>Temas Abordados</b>
	<p>Edad promedio del parque.                      Importación de vehículos.                      Parque automotor.                      Evolución del parque.                      Escenarios de ahorro y sustitución.                      Proyección de emisiones.</p>
<p>Identificación y Valoración de Instrumentos Promocionales para la Eficiencia Energética del Parque Automotriz en Costa Rica. Carlos Roldán. DSE. Año 2008.</p>	<p>Derechos de circulación.                      Especificaciones del desempeño ambiental de importación.                      Estándares de rendimiento.                      Horario laboral: jornadas de 4 x 12 horas.                      Impuestos a los combustibles.                      Impulso de arreglos de horarios laborales y trabajo desde el hogar.                      Incentivos fiscales.                      Incentivos para el desarrollo de tecnologías.                      Información a los compradores.                      Combustibles alternativos.                      Limitaciones a la vida útil.                      Medidas para el control del tráfico.                      Renovación del parque automotor.                      Monitoreo de la eficiencia.                      Niveles de eficiencia energética y desempeño ambiental.                      Redefinición de especificaciones de combustibles.                      Reducción en impuestos.                      Aumento de impuestos en combustibles.                      Regulaciones en eficiencia energética y desempeño.                      Restricciones en la importación de vehículos usados.                      Trabajo desde el hogar.</p>
<p>Evolución del Parque Vehicular 1973-2007. DSE. Año 2008.</p>	<p>Datos sobre evolución del parque automotor.</p>
<p>Aporte del Sector Infraestructura y Transportes al Desarrollo Económico y Social 2008. MOPT. Año 2008.</p>	<p>Índices de red vial.                      Estadística de accidentes.</p>
<p>Encuesta del Recorrido Medio Anual de los Vehículos en Circulación en Costa Rica. Greibin Villegas. CEPAL. Año 2009.</p>	<p>Recorrido según el sector.                      Recorrido según tipo de combustible.                      Recorridos al año por tipo de automotor.</p>
<p>Anuario 2008 Riteve SyC. Riteve. Año 2009.</p>	<p>Distribución por año del modelo.                      Distribución por tipo de automotor.                      Resultados de inspecciones.                      Rechazo por emisiones.                      Distribución según antigüedad de la flota.</p>
<p><i>Costos en Salud por la Contaminación del Aire.</i> P. Allen, C. Vargas, M. Araya, L. Navarro, R. Salas. Ministerio de Salud, GTZ. Año 2005.</p>	<p>Costos y efectos en salud de emisión de partículas del transporte.</p>

<b>Documento</b>	<b>Temas Abordados</b>
Externalidades en el Transporte con Tecnologías Limpias. Instituto de Políticas para la Sostenibilidad (IPS), CNFL. Año 2004.	Análisis costo-beneficio. Valoración económica. Costo de adquisición del vehículo. Costos de operación y mantenimiento. Costos financieros. Costos por emisiones de gases de efecto invernadero. Daños a la salud. Efecto sobre las finanzas públicas y balanza de pagos. Externalidades del transporte eléctrico. Impacto fiscal. Modelo informático. Niveles de contaminación del aire. Transporte eléctrico.
Anuario Estadístico del Sector Transporte 2007. MOPT. Año 2008.	Accidentes en tránsito. Carga movilizada según puerto. Carga transportada por ferrocarril. Importación de vehículos automotores. Inspección técnica vehicular. Longitud y estado de la red vial. Mercadería desembarcada según puerto. Movimiento vehicular. Inversión en infraestructura según medio de transporte. Tránsito promedio diario. Valor Agregado del sector transporte. Vehículos automotores en circulación.

**Fuente: Elaboración propia**

## **2.2 ESTUDIOS Y PUBLICACIONES INTERNACIONALES**

La identificación de fuentes internacionales de información sobre el tema de los sistemas de transporte y el transporte eléctrico específicamente, se ha centrado en los estudios realizados por la International Energy Agency (IEA) y el International Transport Forum (ITF), organizaciones multilaterales que se ubican en la frontera del conocimiento sobre las políticas y estrategias a nivel global. Adicionalmente, se identificaron diversos estudios realizados para los Estados Unidos, Japón, Canadá y la Unión Europea, países y regiones que lideran el desarrollo tecnológico y político del transporte eléctrico mundial.

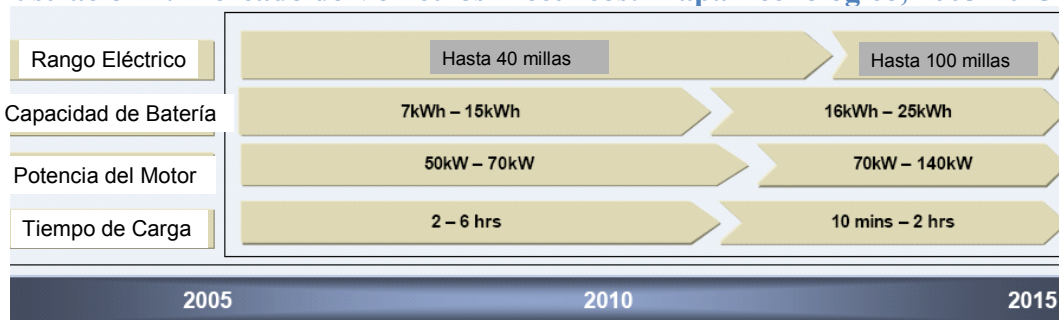
Seguidamente se incluyen notas sobre los documentos más importantes identificados:

*Report to the G8 Summit. Supporting the Gleneagles Plan of Action.* International Energy Agency (IEA). Septiembre del 2008. Este reporte pone en perspectiva el tema del transporte eléctrico dentro del futuro global del uso de la energía y sus impactos

ambientales, principalmente por las emisiones de gases de efecto invernadero. Se señala que la des-carbonización del transporte es un punto fundamental si se busca lograr la reducción mundial de emisiones en el año 2050, para lo que el sector transporte debería reducir en un 26% sus emisiones globales. El tema es que lograr esta des-carbonización es más caro que lograr por ejemplo una mayor participación de la generación eléctrica con fuentes renovables. Sin embargo, se señala que es posible alcanzar buenas metas si se promueve el uso de estándares de eficiencia más rigurosos en la flota, si se promueve la educación vial, y si se incrementa la producción y uso de vehículos eléctricos e híbridos. El compromiso político de largo plazo es fundamental, a la par del avance tecnológico.

*Global Market Analysis of Plug in Hybrid Electric Vehicles.* Frost & Sullivan. M12D–18. Diciembre del 2007. Este documento ofrece un análisis de corto y mediano plazo sobre el desarrollo del mercado de vehículos eléctricos, considerando los avances en cuatro áreas clave: el alcance en distancia, la capacidad de la batería, la potencia del motor y el tiempo de carga. Como se observa en la ilustración 1, se espera que para el 2015 ya se hayan logrado importantes avances en cada tema. El estudio también indica que la cantidad de autos vendidos en ese año a nivel global podría alcanzar las 365,000 unidades.

### Ilustración 1. Mercado de Vehículos Eléctricos: Mapa Tecnológico, 2005-2015



**Fuente: Frost & Sullivan. M12D–18. Diciembre del 2007.**

*Transport, Energy and CO<sub>2</sub>: Moving Toward Sustainability.* International Energy Agency (IEA). Noviembre del 2009. Este trabajo incorpora proyecciones sobre escenarios de desarrollo del transporte eléctrico y su implicación en el uso de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero en el largo plazo. Se desarrolla un análisis a nivel tecnológico e institucional sobre cuáles son las posibles vías para el desarrollo, producción y consumo de vehículos eléctricos (VE) y vehículos híbridos (VEI) a nivel de

regiones y globalmente. El estudio estima que para el año 2015 la cantidad de vehículos eléctricos vendidos globalmente alcanzará las 500,000 unidades, mientras que se venderán 800,000 autos eléctricos híbridos. Estas estimaciones cambian significativamente dados los escenarios establecidos. Para el año 2030, las ventas globales de VE serán de 9.3 millones de unidades, mientras que los VEI sumarán 24.6 millones.

Para el año 2050, se venderán 52.2 millones de autos eléctricos y 49.1 millones de autos eléctricos híbridos a nivel mundial. Es decir, se proyecta que en unas décadas la participación porcentual de ambos tipos de vehículos a nivel global sea cercana al 50%-50%. De ahí que al 2050 el stock mundial de autos eléctricos y eléctricos híbridos se estima en 510 millones en países desarrollados, 240 millones en China, 180 millones en la India, y 370 millones en el Resto del Mundo (incluyendo América Latina).

Estas proyecciones parten de supuestos bastante agresivos sobre los avances tecnológicos y políticos en el tema del transporte eléctrico. Estos temas son clave para el presente trabajo, ya que son parte del clima mundial de inversiones y desarrollo del transporte eléctrico, que en buena medida condicionarán el potencial nacional, y que deberían integrarse y alinearse con los esfuerzos locales y las políticas futuras a seguir. Dado que Costa Rica apenas inicia su camino en el desarrollo de un sistema de transporte eléctrico, pero que cuenta con un importante potencial por predominante participación de fuentes renovables en la generación eléctrica, entender la situación global y el conocimiento de frontera es clave para este trabajo. La Tabla 2 resume las principales condiciones/avances que se proyectan, necesarios para impulsar el cambio en el mercado de autos eléctricos y eléctricos híbridos.

**Tabla 2. Principales Hitos en Mercado de Vehículos Eléctricos Híbridos**

<b>Años</b>	<b>2010 - 2012</b>	<b>2012 - 2015</b>	<b>2015 - 2020</b>	<b>2020 – 2030</b>
Marco de Políticas	Desarrollo de un marco de políticas que focalice la “adopción temprana” con incentivos tanto para consumidores como para fabricantes	Revisión de las políticas y actualizaciones que reflejen las mejores prácticas; apoyo a la expansión de infraestructura para asegurar que las ventas de VE y VEI se pongan en camino	Expansión de las ventas de VE y VEI a más áreas; desarrollo de redes de recarga a nivel nacional	Asegurar un crecimiento estable del mercado; transición hacia un mercado de VE y VEI competitivo, que depende cada vez menos de incentivos
Vehículos / Baterías	Inicia la producción de nuevos modelos de VE y VEI; se dan bajos volúmenes de producción demostrativos para probar baterías y controles, y apoyar la optimización del diseño	Aumento del número de modelos y los volúmenes de producción promedio; reducción de costos además de las baterías	Se alcanzan los objetivos en el costo de las baterías; los niveles de producción superan los 50,000 por modelo; ventas anuales de 5 millones principalmente en países desarrollados, China e India	Crecimiento rápido de ventas a nivel mundial; ventas anuales de 30 millones en el 2030
Códigos / Estándares	Creación de estándares comunes para conectores y protocolos de recarga en las principales regiones	Asegurar la disponibilidad de métrica inteligente en los hogares con tarifas duales en áreas de adopción temprana	Finalizar los estándares en todos los componentes de hardware y software, incluyendo la venta de electricidad de los vehículos a la red	Refinar los códigos y estándares según las necesidades
Recarga / Infraestructura Eléctrica	Focalizar áreas que podrían requerir infraestructura de recarga en el 2015; enfocarse en hogares y lugares públicos con adopción temprana	Iniciar inversiones principales en recarga comercial diaria en las calles y oficinas, incluyendo recarga rápida donde sea posible	Proveer métricas inteligentes y una adecuada cobertura de recarga diurna en áreas metropolitanas; invertir en los principales sistemas de recarga interurbanos	Continuar capacidad de recarga densidad de estaciones a medida que aumenta el número de vehículos; alcanzar generación eléctrica baja en emisiones de CO <sub>2</sub>
Investigación y Desarrollo (I&D)	Asegurar que los modelos de vehículos y baterías sean más seguros y confiables; establecer metas técnicas de corto plazo; continuar con I&D en diseño avanzado de baterías	Progreso hacia la meta del costo de baterías en US\$300 por kWh; incorporar lecciones aprendidas de experiencias anteriores	Alcanzar todas las metas tecnológicas y de costo de mediano plazo; continuar con la I&D en diseño avanzado de baterías	Alcanzar la siguiente generación de baterías (u otros dispositivos de almacenamiento de energía) superiores a la actual

**Fuente: *Transport, Energy and CO<sub>2</sub>: Moving Toward Sustainability*. International Energy Agency (IEA). Noviembre del 2009.**



*Environmental Impacts and Impact on the Electricity Market of a Large Scale Introduction of Electric Cars in Europe*. Critical Review of Literature. Florian Hacker, Ralph Harthan, Felix Matthes, y Wiebke Zimmer. European Topic Centre on Air and Climate Change. Julio del 2009. Este trabajo presenta un análisis sobre los posibles impactos económicos y ambientales de una introducción a gran escala de vehículos eléctricos y eléctricos híbridos en Europa. El análisis se basa en una amplia revisión de la literatura técnica y política en el área de los vehículos eléctricos. Considera como centrales cuatro áreas: i) la técnica (desde la tecnología actual y avances con las baterías, hasta la factibilidad técnica para integrar vehículos eléctricos a gran escala en los sistemas energéticos actuales de una manera flexible); ii) la movilidad (relacionada con la sustitución de kilometraje de transporte intensivo en combustibles fósiles, así como la aceptación y la movilidad por integración de diversas fuentes de transporte); iii) la energética (cuáles son las fuentes y la capacidad eléctrica para la recarga de vehículos); y iv) la legalidad (consistencia de las regulaciones del transporte eléctrico con los marcos legales sobre la producción y consumo de energía a nivel general). El estudio aborda en detalle los aspectos centrales relacionados con el mercado de vehículos eléctricos y eléctricos híbridos, desde las baterías (el principal cuello de botella en el avance de tecnologías de propulsión eléctrica), pasando por las variables determinantes del crecimiento del mercado, hasta las posibles implicaciones del transporte eléctrico sobre el consumo energético y la emisión de gases de efecto invernadero. Un punto muy importante del estudio es que ofrece una muy completa revisión de la literatura sobre cuatro ejes centrales, tal como se detalla en la siguiente tabla. Se trata de más de 200 fuentes bibliográficas avanzadas. Todos estos documentos han sido debidamente identificados y ofrecen una visión integral de los principales aspectos a considerar en el presente trabajo, como guía de análisis para el caso particular de Costa Rica.

**Tabla 3. Literatura Clave en Mercado de Vehículos Eléctricos e Híbridos  
(Número de documentos identificados por tema)**

<b>Tema</b>	<b>Número de Documentos</b>
Sistemas de Almacenamiento de Energía	71
Opciones Tecnológicas	48
Requerimientos para Aplicaciones Automotrices	32
Estado Actual y Perspectivas	43
Producción, Reciclaje, Desecho (uso de recursos y energía)	33
Conceptos sobre los Vehículos y Perfil del Mercado	170
Características Generales y Aplicaciones	52
Eficiencia Energética y Consumo	44
Diferencial de Precios	42
Perfil de Mercado de los Autos Eléctricos	118
Proyectos Piloto	54
Introducción al Mercado de los Vehículos Eléctricos	142
Modelos de Negocio	20
Patrones de Uso y Esquemas de Carga	28
Escenarios de Penetración de Mercado	39
Barreos de Mercado, Temas de Política e Iniciativas	97
Impactos Ambientales	88
Factores de Emisión	46
Interacción con el Mercado Eléctrico	42
Interacción con la Legislación	40
Calidad del Aire y Ruido	44

**Fuente: Florian Hacker and Others, 2009.**

*Reducing Transport Greenhouse Gas Emissions: Trends & Data 2010*, y *Transport Outlook 2010. The Potential for Innovation*. OECD e International Transport Forum (ITF). Ambos documentos del 2010. Estos reportes ofrecen un panorama global sobre las tendencias del sector transporte y sus principales determinantes. Ofrece un análisis sobre la evolución de los sistemas de transporte en numerosos países, haciendo hincapié en el crecimiento y composición de la flota, aspectos relacionados con la saturación y la calidad de la infraestructura, y el crecimiento económico. Si bien el nivel de riqueza de los países es uno de los principales determinantes de la tenencia de automóviles privados, también se observa a nivel histórico comportamientos con tendencia a una estabilización en el largo plazo de la cantidad de vehículos por habitante. Estos reportes presentan diversos aspectos a ser considerados cuando se realizan proyecciones y estimaciones sobre el comportamiento futuro de los sistemas de transporte tanto público como privado.

*Electric Vehicle Technology Roadmap for Canada. A strategic vision for highway-capable battery-electric, plug-in and other hybrid-electric vehicles. Electric Mobility Canada. Gobierno de Canadá. Año 2009. Planning for Electric Vehicles in Australia. Can we Match Environmental Requirements, Technology and Travel Demand? Michael Taylor, Peter Pudney, Rocco Zito, Nicholas Holyoak, Amie Albrecht y Raluca Raicu. Institute for Sustainable Systems and Technologies, University of South Australia, Adelaide, Australia. Año 2008. Investigation into the Scope for the Transport Sector to Switch to Electric Vehicles and Plug-in Hybrid Vehicles. Department for Business Enterprise and Regulatory Reform: Department for Transport. Reino Unido. Octubre 2008.* Todos estos trabajos presentan la perspectiva del desarrollo del sistema de transporte eléctrico en tres países desarrollados. En todos los reportes se destacan las condiciones necesarias para que el mercado de transporte eléctrico se desarrolle, principalmente con relación a los estándares de la tecnología, a los sistemas de generación y distribución de electricidad, y a los marcos regulatorios. Todos estos aspectos deben evaluarse para saber cómo es el ambiente para el desarrollo del transporte eléctrico y cómo deben planificarse los cambios e inversiones requeridas para consolidarlo en el mediano y largo plazo.

### **2.3 ORGANIZACIONES DEL SECTOR PÚBLICO**

Dirección Sectorial de Energía: La DSE es la fuente central de información para este trabajo. Los diversos estudios que realizan para dar seguimiento a la evolución del sector transporte son punto de partida para los análisis. La composición de la flota, las encuestas sobre el perfil del sector transporte y los patrones de consumo de energía son indicadores clave que la DSE monitorea frecuentemente. La DSE es también fuente de diversos estudios a nivel nacional e internacional sobre el sector transporte, y en particular sobre el transporte eléctrico. Asimismo, el Plan Nacional de Energía que elabora la DSE es un punto de partida para las estimaciones y análisis que se realizan en este trabajo.

Instituto Costarricense de Electricidad: El ICE es la fuente oficial sobre las proyecciones y estimaciones del comportamiento del sector eléctrico. Dados los potenciales impactos de promover el transporte eléctrico en el país, la información sobre futuras acciones

nacionales en el sector eléctrico es un componente principal del trabajo. La información sobre el futuro de expansión de generación eléctrica del ICE es un insumo clave. Tanto el Plan de Expansión Eléctrica 2008-2021 como sus periódicas actualizaciones debe formar parte del análisis sobre el potencial del sector de transporte eléctrico en el país.

Ministerio de Obras Públicas y Transporte: El MOPT es la fuente central sobre los planes de desarrollo de infraestructura vial y ferroviaria del país, como ente planificador responsable de las políticas nacionales del sector transporte.

Refinería Costarricense de Petróleo: RECOPE administra la información sobre el consumo de derivados de petróleo del país, así como su distribución. La información contenida en el Pronóstico de Demanda de Combustibles a Largo Plazo 2007-2026 y las actualizaciones que se realizan son insumos centrales para los análisis de escenarios posibles para el desarrollo del transporte eléctrico que se realizan en este trabajo.

Instituto Nacional de Seguros: El INS es una fuente actualizada sobre la composición de la flota de transporte del país. Las bases de datos sobre seguros y pago de marchamos permiten identificar la composición porcentual de la flota con un grado alto de confiabilidad. Esta información se controla de manera cruzada con los datos de la DSE y del MOPT.

Las principales fuentes de información obtenidas de las organizaciones del sector público descritas están relacionadas con las estadísticas de flotas vehiculares, consumo de combustibles, parámetros de consumo y resultados en materia de transporte eléctrico.

## **2.4 PROCESO DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN REQUERIDA**

Los diversos documentos sobre estudios nacionales e internacionales han sido identificados a través de búsqueda en bases bibliográficas especializadas y en los sitios Web respectivos de las organizaciones y autores, así como en centros de documentación nacionales. Adicionalmente, para obtener la información requerida para el trabajo se han identificado las diversas fuentes impresas y en formato electrónico de las organizaciones públicas citadas anteriormente. Para tal efecto se ha hecho una revisión en centros de

documentación y páginas Web oficiales, así como contactos directos con personeros de cada una de las organizaciones del sector público pertinentes. El contacto personal es clave, ya que facilita no solamente la identificación de información más reciente y actualizada, sino que permite incorporar directamente dentro del trabajo realizado los conocimientos y experiencia de primera mano de funcionarios de la DSE, RECOPE, ICE, CNFL, MOPT, y otras organizaciones públicas relacionadas.

## **2.5 ORGANIZACIONES DEL SECTOR PRIVADO**

Se ha realizado un primer contacto con varios personeros de empresas privadas relacionados con el tema del transporte eléctrico, a nivel de comercialización, o estrategias y experiencias en otros países. Se mantendrá mayor comunicación con estas personas para la siguiente fase del trabajo.

**Tabla 4. Personas del Sector Privado Contactadas**

<b>Nombre</b>	<b>Empresa</b>
James Middlebrooks	Electric Car de Costa Rica
Luis Diego Retana Z	Electric Car de Costa Rica
Viviana Ulate	Electric Car de Costa Rica
Waleska Moya	Electric Car de Costa Rica
Samuel Viroslav	ECOENERGIA
Saul Kierszenzon	ECOENERGIA
Ronald Bolaños	MECSOFT
Cindy Aguilar	REVA
Sergio Gutiérrez	REVA
Emilio Mora	REVA
Luis Andrés Echeverría	REVA
Alfredo Chavarría	Agencia Datsun

## **2.6 LIMITACIONES DE INFORMACIÓN<sup>1</sup>**

Si bien existen numerosas fuentes de información en las organizaciones públicas identificadas, debe señalarse que se encuentran varias limitaciones con relación a la

---

<sup>1</sup> Esto corresponde a lo identificado como parte del primer informe de trabajo. A medida que se avance con las demás tareas y consolidada en el informe final, esta sección incorporará los temas adicionales que se identifiquen así como las acciones propuestas para mejoras.

disponibilidad de información que permita un análisis más comprehensivo sobre el sector transporte del país. Esto no quiere decir que no sea posible abordar el estudio con las fuentes actuales, pero sin duda demanda mayores esfuerzos de estimación y uso de supuestos de trabajo para complementar los vacíos actuales de información. La Dirección Sectorial de Energía y el Ministerio de Obras Públicas y Transportes realizan importantes esfuerzos por seguir la evolución del sector transporte con base en diversos instrumentos y metodologías. Pero pese a este valioso trabajo, se dan varios obstáculos a nivel de país cuya solución debería ser prioridad a corto plazo:

No existe en el país una política del sector transporte de largo plazo (al menos a 20 años). Esto representa en sí mismo una limitación, ya que no se cuenta con proyecciones y estimaciones *oficiales* del sector transporte, tanto a nivel de la flota (número y composición) como de la infraestructura, tráfico, características de la demanda, estándares de calidad, sistemas interconectados, variables urbanas, sociales y ambientales, y en general de un análisis sistémico que integre los principales componentes del sistema de transporte con el resto de la economía.

El sector transporte es la fuente principal de emisiones de gases de efecto invernadero en el país, dado su alto consumo de combustibles fósiles, por lo que se considera un componente central en la Estrategia Nacional de Cambio Climático. Sin embargo, a la fecha no existe un plan estratégico con metas e indicadores debidamente establecidos, que indique el norte de políticas y las condiciones para la proyección de escenarios futuros.

Existe mucha información desplegada en diversas organizaciones públicas. No están disponibles bases de datos integradas con información tanto cualitativa como cuantitativa. La DSE realiza un importante esfuerzo de recopilación y actualización de la información disponible a nivel nacional. Debería realizarse un informe estadístico del sector transporte (al menos cada dos años) siguiendo el patrón de la OECD o la ITF, de manera que se cuente con series de tiempo sobre variables clave para el análisis del sector transporte, consistentes con estándares internacionales, para poder asimismo hacer estudios comparativos.

Cabe destacar la poca accesibilidad a información base en materia de transporte que produjo el proyecto PRUGAM, el cual al desaparecer como proyecto independiente, fue heredado al Ministerio de Vivienda y Asentamiento Humanos, el cual aún no logra comprender la magnitud de la información que poseen y por lo mismo no la ponen a disposición ágilmente para su explotación en estudios como el presente.

### **3 VARIABLES BASE PARA LA EVALUACIÓN DE ESCENARIOS**

Para la estimación la flota vehicular se analizará el efecto de dos variables que se consideran de mayor influencia en el crecimiento de vehículos que la sociedad demanda, como lo son el crecimiento de la economía y el crecimiento poblacional.

En el caso de Costa Rica, la satisfacción de las necesidades de transporte ha seguido un patrón en donde el vehículo particular se constituye en la base de movilización para la mayor parte de las personas que pueden tener acceso al mismo.

Un primer factor puede ser el insuficiente servicio de transporte público, que no llena las expectativas de calidad, poco eficiente, con exceso de traslape entre líneas y sin una integración que permita al pasajero pasar de una línea a otra en poco tiempo y comodidad. Pese a que buena parte de las líneas del área metropolitana llegan a San José, la falta de planificación e integración hace que el transbordo entre líneas en esta ciudad no sea ágil y se enfrente una gran congestión vial.

Otro aspecto que influye en la preferencia por el auto particular, es que el desarrollo vial en el país ha sido limitado, por lo que para algunas personas el auto particular le da mayor flexibilidad manejar horarios, trayectorias y otras variables del transporte. En el PRUGAM se encontró que “la vialidad es uno de los aspectos sustantivos del sector transporte, que, en términos generales corresponde a las vías de comunicación, puentes, terminales, aceras, demás mobiliario urbano y resto de infraestructura necesaria para facilitar el transporte de personas y bienes”.<sup>2</sup> Sin embargo, esta percepción podría ser errónea si se considera que la preferencia por el auto particular ha saturado las calles

---

<sup>2</sup> PRUGAM, Documento para el Plan Nacional de Desarrollo Urbano (síntesis primera fase) Comisión de Vialidad y Transportes, San José: PRUGAM, 2006, Pág. 5

principalmente del Gran Área Metropolitana, dificultando el tránsito debido al congestionamiento vial, por lo tanto la flexibilidad que se espera del vehículo particular se ve limitada por un tema de saturación.

### 3.1 CRECIMIENTO DE LA ECONOMÍA

Para realizar las proyecciones del crecimiento económico se estima la variación en el Producto Interno Bruto (PIB) del país hasta el año 2030, mediante el Modelo de Equilibrio General Computable (MEGC) desarrollado en Rivera y Rojas-Romagosa (2009). Después del año 2030 se hace el supuesto de crecimiento de la economía de un 4.5% en promedio anual, observando que para al final del 2050 el crecimiento per cápita de la producción que alcanzaría el país no cuestiona la lógica del desarrollo económico que podría obtener esta economía en el futuro. Se trata de un modelo dinámico recursivo, el cual se resuelve para cada año proyectado, vinculando los resultados mediante choques exógenos en variables clave como los factores de producción y los niveles de productividad. Los choques exógenos considerados dentro de la dinámica de comercio internacional del país son la incorporación al tratado de libre comercio de Centroamérica y Estados Unidos (siguiendo a Francois et al, 2008),<sup>3</sup> así como el acuerdo de asociación de Costa Rica a la zona comercial de la Unión Europea (con base en Rivera y Rojas-Romagosa, 2009).<sup>4</sup> Es importante considerar estos Tratados, ya que se espera que el crecimiento de las próximas dos décadas dependa de manera importante del comercio internacional, como lo ha sido en los últimos años de mayor integración del país con la economía internacional.<sup>5</sup>

---

<sup>3</sup> Francois, J., L. Rivera y R. Rojas-Romagosa (2008): “Economic Perspectives for Central America after CAFTA: A GTAP-based Analysis.” CPB Discussion Paper 99. CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis.

<sup>4</sup> Rivera, L. y H. Rojas-Romagosa (2009): “Análisis de Impacto sobre la Sostenibilidad (AIS) ante un Acuerdo de Asociación entre la Unión Europea y Centroamérica.” En S .Heieck et al, editores, Política Comercial en Centroamérica: Perspectivas del Acuerdo de Asociación con la Unión Europea y Retos para las Pequeñas y Medianas Empresas. Alajuela, C.R.: INCAE Business School.

<sup>5</sup> Tratados como el de China y otros países asiáticos no se contemplaron, al no esperarse grandes impactos de los mismos. Se debe tener presente que estas estimaciones se basan en supuestos sobre el comportamiento futuro de la economía. Se recomienda realizar revisiones futuras sobre estas estimaciones a medida que se avance con los planes y proyectos de modernización del sector transporte del país y su impacto en la dinámica económica del país. Adicionalmente, debe recordarse que las simulaciones se basan



Por otra parte, se asume un crecimiento anual del 3% en los factores de producción (tierra, trabajo, capital) así como un incremento de la Productividad Total de los Factores (PTF) de un 1.5% anual (véase Rivera y Rojas-Romagosa, 2010). El tema de la PTF es clave, ya que la literatura indica que Costa Rica si bien ha logrado un desempeño modesto comparado con el de otras naciones en desarrollo, mantener un ritmo de crecimiento de la productividad sostenido en el largo plazo es una condición fundamental para acelerar el crecimiento económico.<sup>6</sup>

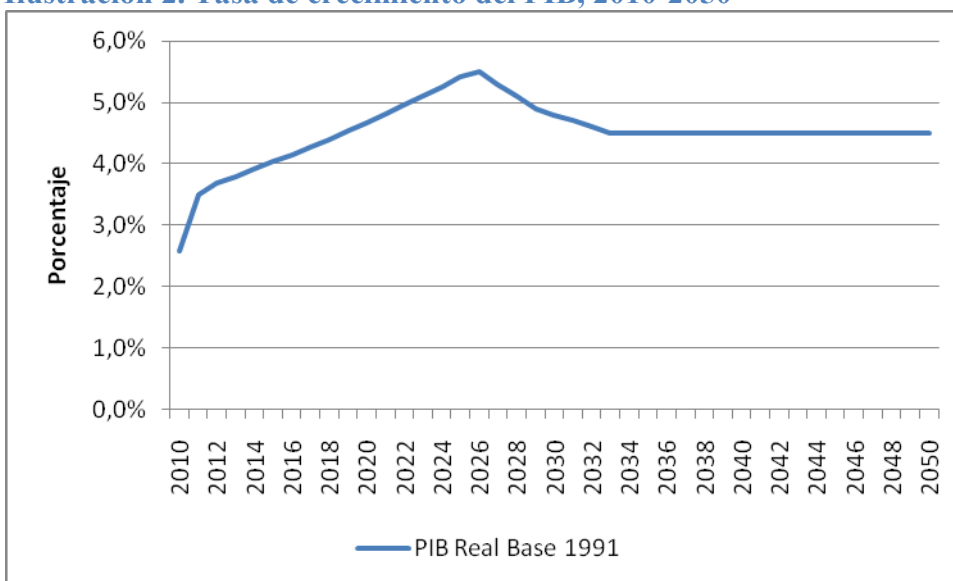
La Ilustración 2 muestra las tasas de crecimiento del PIB real estimadas con el modelo. Se encuentra un aceleramiento de las tasas de crecimiento conforme se fortalecen los encadenamientos originados con la integración con los bloques comerciales ofrecidos por el DR-CAFTA y la Unión Europea. Las mayores tasas de crecimiento se observan a partir de la consolidación de los Tratados, es decir, cuando los calendarios de eliminación de barreras comerciales se concretan. A esto se suma el crecimiento de la productividad que se simula en el modelo. El mayor empuje en el crecimiento del PIB se da en la década del 2020, esperándose que el PIB per cápita supere los \$16 mil dólares para el final de esa década, al final de esta década se da una transición en el crecimiento del país para que las tasas vayan alcanzando un punto estacionario que se ha supuesto en 4.5%. Esto llevaría a que pese que la tasa de crecimiento del PIB es menor, el país en el 2050 tendría un PIB per cápita poco debajo de los \$40 mil, lo que señalaría que el ritmo de crecimiento sería aún importante.

---

en escenarios que no consideran otros posibles efectos de variables internas y externas sobre el patrón de crecimiento de la economía.

<sup>6</sup> Véase Monge-González, R., L. Rivera y J- Rosales (2010): *Productive Development Policies in Costa Rica: Market Failures, Government Failures and Policy Outcomes*. IDB Working Paper Series 157. Marzo 2008.

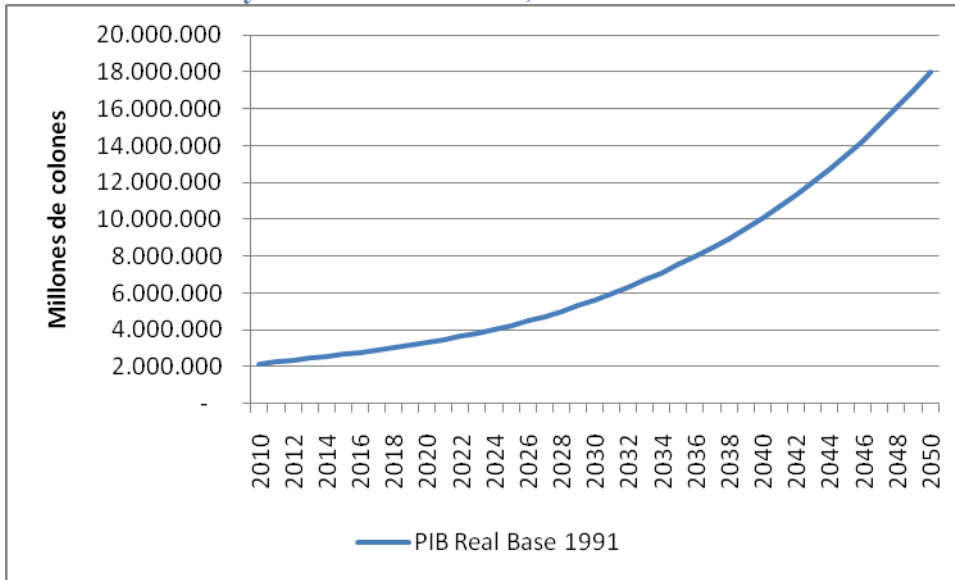
### Ilustración 2. Tasa de crecimiento del PIB, 2010-2050



**Fuente: Elaboración propia con base en Rivera y Rojas-Romagosa (2009)**

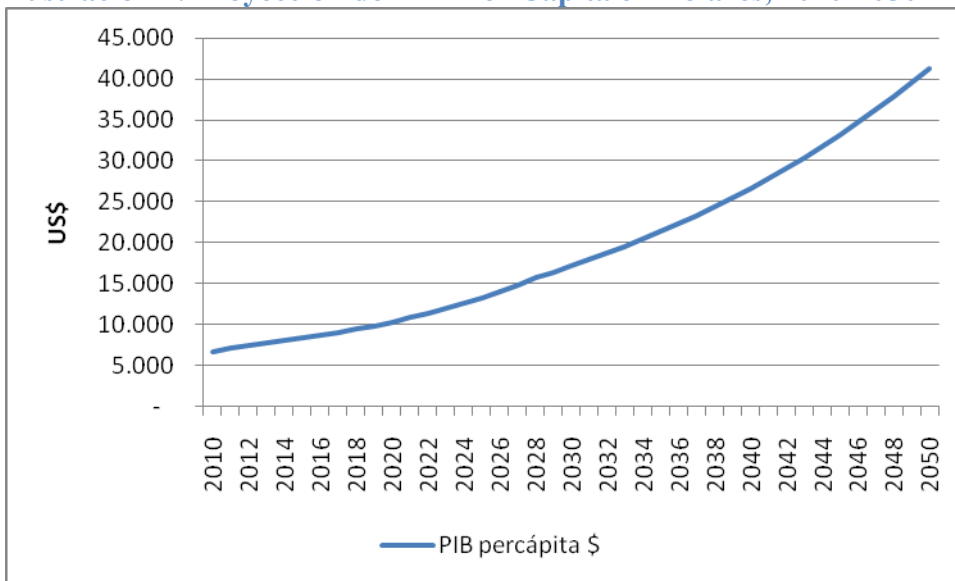
En la Ilustración 3 se observa el producto interno bruto real para el periodo 2010-2050 y la fuerte expansión que implican las tasas de crecimiento supuestas en el modelo dinámico utilizado como base. Para observar un crecimiento que guarde proporciones respecto al desarrollo que la economía alcanzaría para el 2050, la Ilustración 3 muestra la ruta de crecimiento que seguiría el PIB per cápita en dólares, indicando que para el final del periodo de proyección, 2050, el PIB per cápita sería de unos \$39.679. Esta cifra indica que el país habría pasado el umbral de país desarrollado, pero esta cifra no es comparable con los PIB per cápita de los países desarrollados de hoy en día, pues se tratan de dólares del respectivo año. Para la obtención del PIB per cápita se aplicaron las tasas de crecimiento real del producto interno bruto al ingreso per cápita del 2009, el cual fue establecido por el Banco Central de Costa Rica en \$6.498. La evolución del PIB per cápita se observa en la ilustración 4.

**Ilustración 3. Proyección del PIB Real, 2010-2050**



**Fuente: Elaboración propia con base en Rivera y Rojas-Romagosa (2009)**

**Ilustración 4. Proyección del PIB Per Cápita en Dólares, 2010-2050**

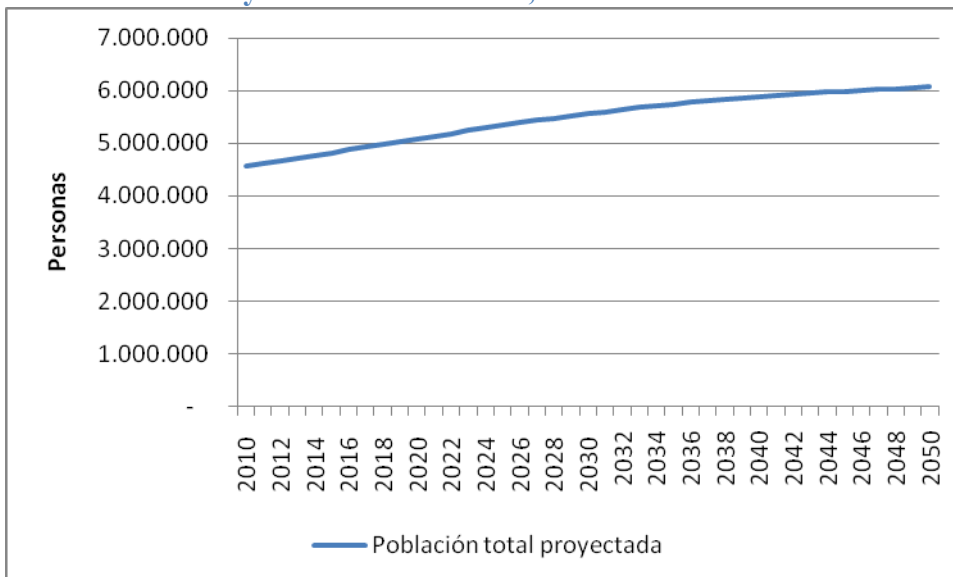


**Fuente: Elaboración propia con base en Rivera y Rojas-Romagosa (2009)**

### 3.2 CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN

Las proyecciones de población provienen del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), el cual proyecta las tasas de crecimiento poblacional al 2030 (ver ilustración 5). A partir del año 2023, la tasa cae por debajo del 1% de crecimiento anual. En el 2008 la población alcanzó 4.451.205 personas. De acuerdo con las proyecciones de la ilustración 4 mientras que en el 2021 se situaría en 5.136.625 de habitantes. Para el 2030 alcanzaría 5.563.132 personas. Para el año 2050 las proyecciones del INEC se alcanzarían 6.069.474 personas habitando el suelo nacional. Esto implicaría que de acuerdo a la población proyectada por el INEC de 4.563.539 personas en el 2010, el país experimentaría un crecimiento en su población de 33% para el 2050, imponiendo la presión sobre las necesidades de transporte de una tercera parte de la población adicionada durante estas décadas.

**Ilustración 5. Proyección de Población, 2010-2050**



Fuente: INEC

### 3.3 COMPOSICIÓN DE LA FLOTA VEHICULAR

Para la proyección de la flota vehicular se utilizará como base los registros de vehículos en la Tabla 5, la cual muestra el registro de vehículos desde 1989 y los divide en particulares, vehículos de carga, transporte público, motocicletas y otros vehículos. Con

estos datos se realizarán ajustes econométricos considerando el crecimiento de la economía y la población, para así ajustar modelos econométricos para la proyección de cada uno de estos componentes de la flota vehicular.

Obsérvese que no se tiene el desglose entre vehículos de carga livianos y pesados, así como entre transporte público en autobuses y transporte público en modalidad taxi. Debido a la importancia de dicha flota se realizarán ajustes a los modelos para obtener dichas flotillas vehiculares.

**Tabla 5. Flota Vehicular Histórica, 1989-2007**

<b>Año</b>	<b>Vehículo Particular</b>	<b>Vehículo Carga</b>	<b>Transporte Público</b>	<b>Motocicletas</b>	<b>Otros Vehículo</b>	<b>Total</b>
1989	131.991	80.996	5.990	41.776	15.459	276.212
1990	143.738	86.098	6.957	44.943	15.922	297.658
1991	149.537	89.139	7.623	47.753	16.412	310.464
1992	171.672	95.865	8.305	50.815	16.931	343.588
1993	199.994	105.886	9.218	56.119	17.687	388.904
1994	215.861	110.494	8.316	62.101	19.506	416.278
1995	230.304	117.560	8.744	68.230	20.420	445.258
1996	244.472	123.266	9.106	73.776	21.296	471.916
1997	265.507	129.485	9.618	80.537	22.055	507.202
1998	295.875	139.538	10.272	88.137	22.967	556.789
1999	334.298	147.028	10.908	94.947	23.638	610.819
2000	383.289	155.177	11.736	102.991	24.564	677.757
2001	430.042	161.431	12.846	110.010	21.863	736.192
2002	478.472	169.597	14.562	116.045	20.035	798.710
2003	527.522	175.728	16.296	121.435	18.010	858.992
2004	577.840	181.397	18.331	126.190	16.167	919.926
2005	629.116	186.298	20.681	130.320	14.445	980.860
2006	681.204	190.475	23.427	133.835	12.853	1.041.794
2007	733.937	193.970	26.677	136.749	11.395	1.102.728

**Fuente: DSE**

En la Tabla 6 se observa la composición del parque automotor para el 2010 según los registros del INS. Según estos datos, el 64% de la flota pertenece a vehículos particulares, los de carga suman más de 18%, siendo los de carga liviana los de mayor proporción. Entre buses y taxis se tiene cerca del 3% de la flota, y las motos, que han aumentado su presencia en los últimos años en las calles nacionales, representan 14% de la flota.

**Tabla 6. Situación del parque Vehicular en el 2010 según tipo**

Particulares	582.171	63,9%
Carga Liviana	137.550	15,1%
Carga Pesada	30.241	3,3%
Buses	14.109	1,5%
Taxis	11.562	1,3%
Motos	127.345	14,0%
Equipo Especial	8.266	0,9%
Total	911.244	100,0%

**Fuente:** INS

## 4 ESTIMACIÓN DE LA FLOTA VEHICULAR

### 4.1 AUTOS PARTICULARES

Para la estimación de la flota de autos particulares se probaron varios modelos de ajuste econométrico considerando el crecimiento de la población. El modelo que entregó mejor ajuste fue el de la proporción de población por vehículo definida por el PIB. El modelo es logarítmico, lo que indica que se basa en las tasas de variación de las variables en cuestión. En la Tabla 7 se ofrecen los resultados econométricos, ofreciendo 98% de R<sup>2</sup> ajustado y significancia en el T de Student de los parámetros.<sup>7</sup>

**Tabla 7. Resultados del Ajuste del Modelo de Vehículos Particulares**

Regression Statistics					
Multiple R	0,99				
R Square	0,98				
Adjusted R <sup>2</sup>	0,98				
Standard Error	0,08				
Observations	28				
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%
Intercept	22,12829	0,560351	39,49004	9,69E-25	20,97647
LN(PIB)	-1,40007	0,040424	-34,6343	2,76E-23	-1,48317

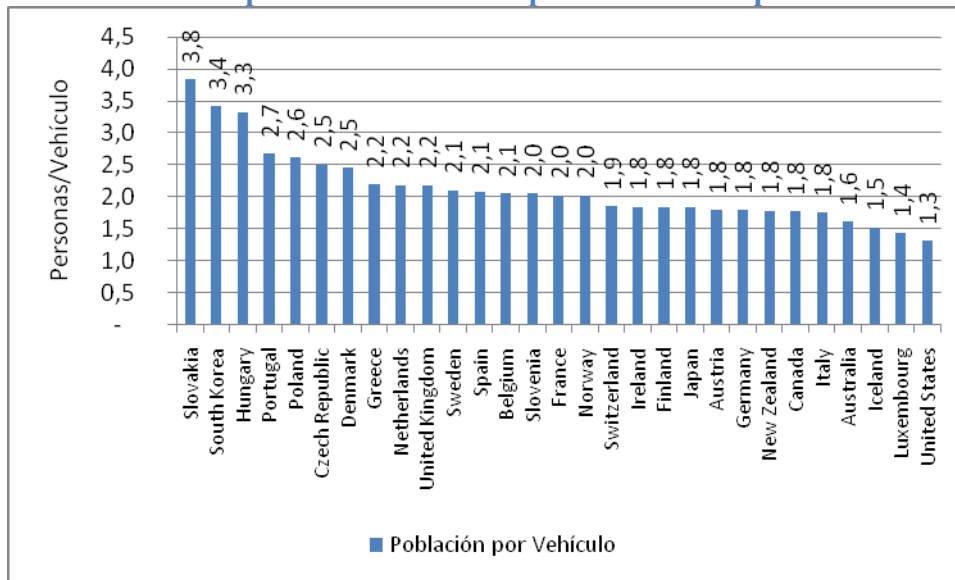
**Fuente:** Elaboración propia

Un importante ajuste que se realiza a la flota de vehículos particulares es en las proporciones de población por vehículos resultantes en el largo plazo, ya que el patrón actual de adquisición de vehículos particulares indica que de sostenerse ese ritmo, las

<sup>7</sup> El T de Student estadístico refleja la significancia estadística de un ajuste. Un valor del estadístico sobre el 3 indica que la significancia está sobre el 97.5%, lo que se puede entender es que si se tuvieran 100 muestras de la población 97.5% de ellas daría los resultados del ajuste como significativos.

proporciones de vehículos aumentarán pronunciadamente. Para mantener proporciones lógicas en la relación de población por vehículo, se muestra en la Ilustración 6 cómo la motorización en países desarrollados ha llegado como máximo a una proporción de 1.3 personas por vehículo. Para el caso de Costa Rica se usará como mínimo 1.8 personas por vehículo como indicador en el largo plazo (se hace esta acotación en los resultados de las proyecciones).

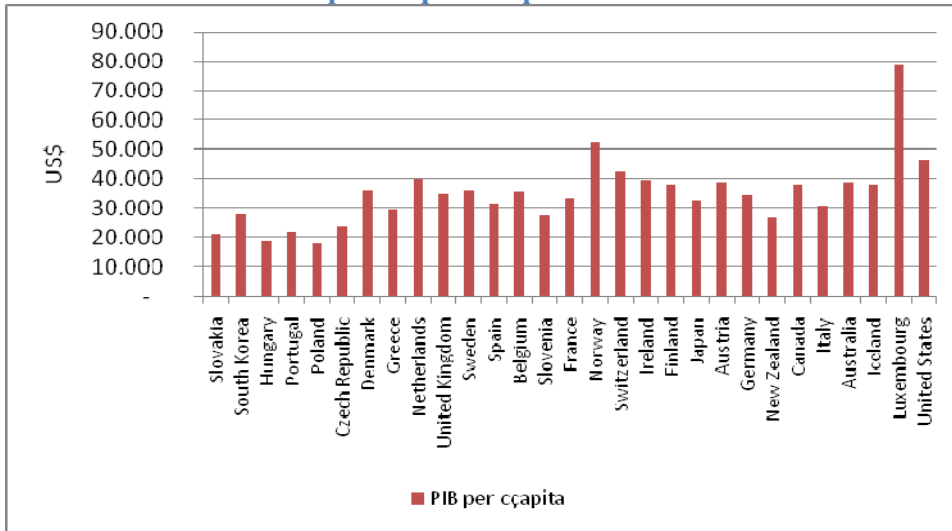
**Ilustración 6. Proporción de Personas por Vehículo en países de la OCDE.**



**Fuente: OCDE, United Nations World Statistics Pocketbook**

En la Ilustración 7 se observa el producto per cápita de los países antes señalados. Los países que muestran una relación de 1.8 personas por vehículo promedian cerca de los US\$35 mil per cápita. Este es un valor cercano al estimado para el país a partir del 2040.

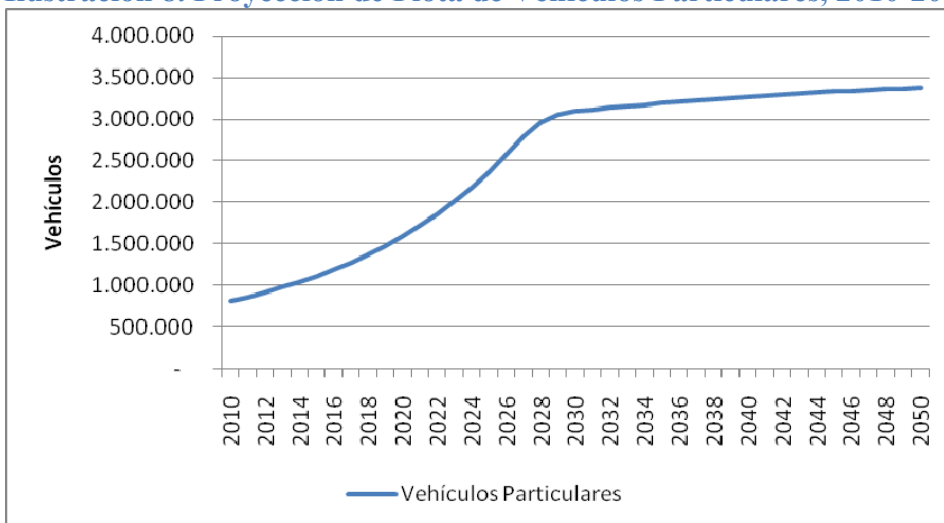
**Ilustración 7. Producto per Cápita en países de la OCDE.**



**Fuente: OCDE, United Nations World Statistics Pocketbook**

El resultado para la flota se observa en la ilustración 8, donde se observa que para el año 2031 la acotación de 1.8 personas por vehículo llega a regir, indicado que para ese año la motorización del país alcanzaría a los países más desarrollados de la actualidad. Aunque Costa Rica tendría a ese momento poco más de US\$16 mil dólares de producto por habitante, el patrón del uso actual del vehículo particular muestra esa tendencia y a través de los años se esperaría que el automóvil sea un bien cada vez más accesible por el avance que muestra la tecnología.

**Ilustración 8. Proyección de Flota de Vehículos Particulares, 2010-2050**



**Fuente: Elaboración propia**



## 4.2 MOTOCICLETAS

El modelo de ajuste de motocicletas se trata de un modelo de la flota definida por la población y el PIB. Nuevamente, el modelo es logarítmico, lo que indica que se basa en las tasas de variación de esas variables. En la Tabla 8 se resumen los resultados econométricos, ofreciendo 99% de  $R^2$  ajustado y significancia en el T de Student de los parámetros.

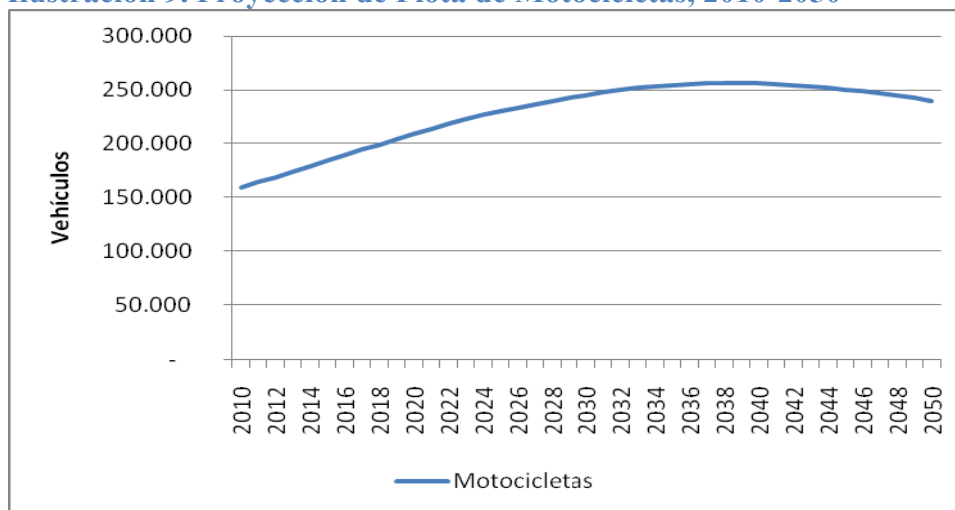
**Tabla 8. Resultados del Ajuste del Modelo de Motocicletas**

Regression Statistics					
Multiple R	0,99				
R Square	0,99				
Adjusted R <sup>2</sup>	0,99				
Standard Error	0,013				
Observations	19				
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%
Intercept	-45,677172	1,582027	-28,8725544	3,13E-15	-49,0309
LN (PIB)	-0,4355181	0,082772	-5,261631409	7,75E-05	-0,61099
LN (POB)	4,1737897	0,180308	23,1481348	9,94E-14	3,791554

**Fuente: Elaboración propia**

El modelo resultante proyecta que el uso de de motocicletas se contraerá proporcionalmente dentro de la flota vehicular, lo cual tiene lógica en la expansión de la flota particular como alternativa (Ver Ilustración 9).

**Ilustración 9. Proyección de Flota de Motocicletas, 2010-2050**



**Fuente: Elaboración propia**

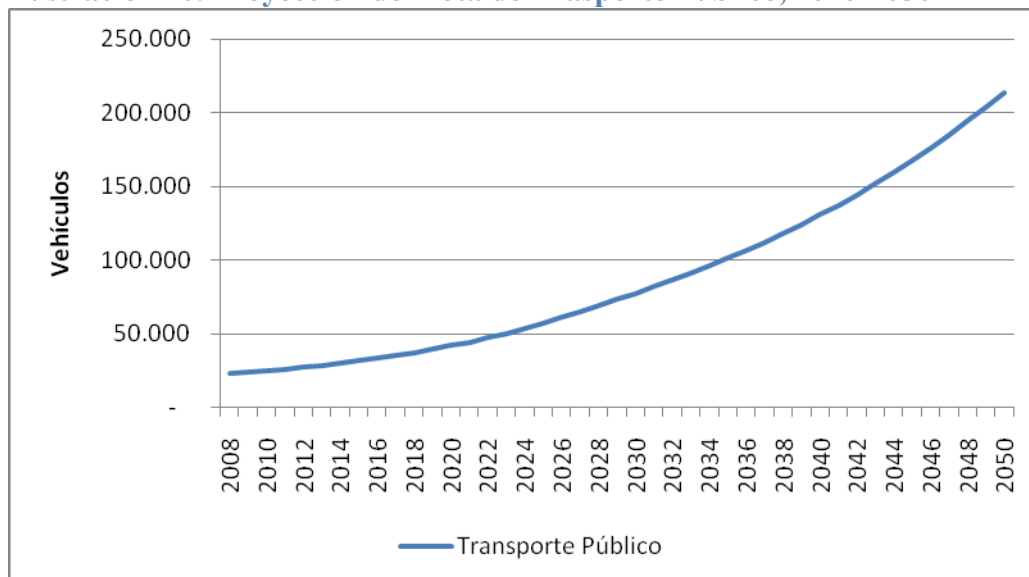
### 4.3 TRANSPORTE PÚBLICO

El modelo de transporte público se basa en la relación personas por vehículo, definido por el PIB. Como en los otros modelos, el modelo es logarítmico, basado en las tasas de variación de las variables en cuestión. En la Tabla 9 se ofrecen los resultados econométricos, ofreciendo 84% de  $R^2$  ajustado y significancia en el T de Student de los parámetros. En este caso, los resultados se ven en la ilustración 10.

**Tabla 9. Resultados del Ajuste del Modelo de Transporte Público**

Regression Statistics					
Multiple R	0,92				
R Square	0,85				
Adjusted R <sup>2</sup>	0,84				
Standard Error	0,13				
Observations	19				
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%
Intercept	20,55613	1,503679	13,67056	1,34E-10	17,38365
ln (PIB)	-1,05227	0,106995	-9,83474	1,98E-08	-1,27801

**Ilustración 10. Proyección de Flota de Transporte Público, 2010-2050**



**Fuente: Elaboración propia**

Un ajuste necesario en la flota de transporte público es la distribución entre autobuses y taxis, ya que tal división no estaba en los datos originales de la flota vehicular. Para

obtenerlo se usó la información contenida en la tabla 10, que se basa en los datos de INS para el 2010.

**Tabla 10. Distribución de Transporte Público entre Autobuses y Taxis, INS 2010**

Buses	Taxis	Total	Buses	Taxis
14.109	11.562	25.671	55%	45%

**Fuente:** INS

Otro ajuste realizado en materia de flota de taxis es que se sustrajo un total de 6 mil vehículos de la flota particular y se pasó a la de taxis, ya que esa es la flota considera de taxis denominados “taxis piratas,” que aunque prestan ese servicio público, no se registran propiamente como taxis.

#### **4.4 TRANSPORTE DE CARGA**

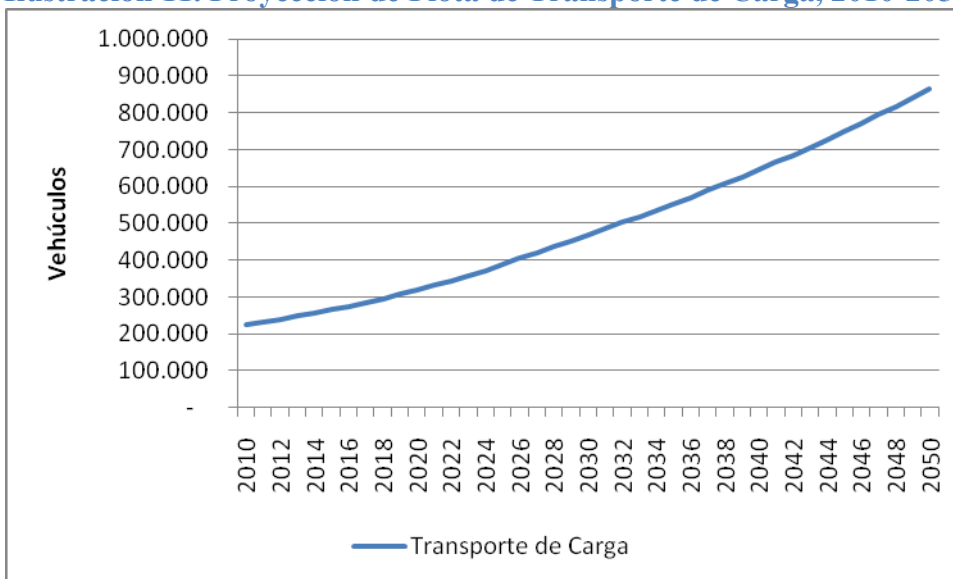
El modelo de transporte de carga se basa en la relación personas por vehículo definido por el PIB en un modelo es logarítmico. En la Tabla 11 se ofrecen los resultados econométricos, ofreciendo 97% de  $R^2$  ajustado y significancia en el T de Student de los parámetros. Los resultados del ajuste se ofrecen en la ilustración 11, la que indica el total de vehículos de carga tanto livianos como pesados.

**Tabla 11. Resultados del Ajuste del Modelo de Transporte de Carga**

Regression Statistics					
Multiple R	0,99				
R Square	0,979				
Adjusted R <sup>2</sup>	0,97				
Standard Error	0,028				
Observations	19				
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%
Intercept	11,66995	0,348328	33,50278	5,76E-17	10,93504
LN (PIB)	-0,59434	0,024785	-23,9794	1,51E-14	-0,64663

**Fuente:** Elaboración propia

**Ilustración 11. Proyección de Flota de Transporte de Carga, 2010-2050**



**Fuente: Elaboración propia**

Nuevamente, en esta flota se tuvo que realizar un ajuste necesario entre carga liviana y carga pesada, ya que tal división no estaba en los datos originales de la flota vehicular. Se usó la información contenida en la Tabla 12, que se basa en los datos de INS para el 2010.

**Tabla 12. Distribución de Transporte de Carga entre Liviana y Pesada, INS 2010**

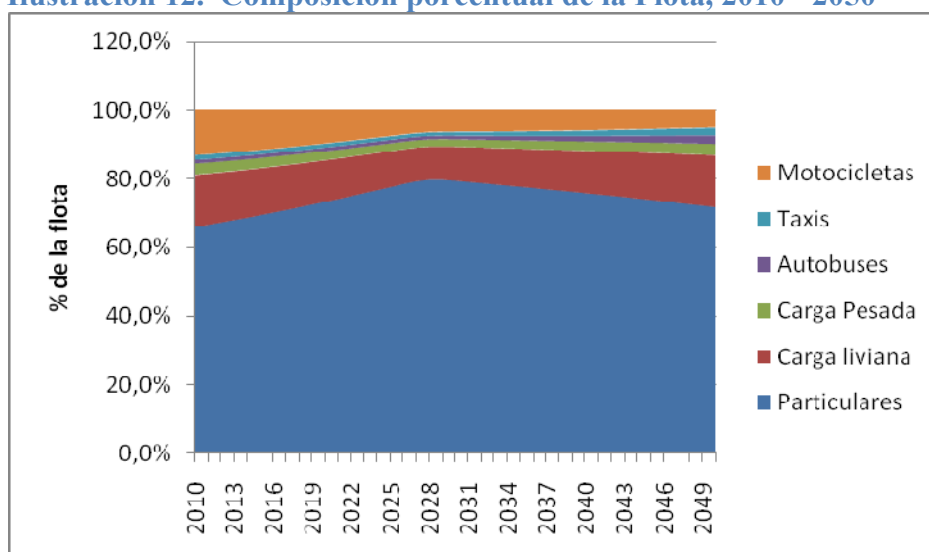
Carga Liviana	Carga Pesada	Total Carga	Carga Liviana	Carga Pesada
137.550	30.241	167.791	82%	18%

**Fuente: INS**

#### **4.5 LÍNEA BASE DE LA FLOTA VEHICULAR TOTAL**

La flota vehicular identificada para Costa Rica y sus proyecciones de crecimiento se puede ver en la en la Ilustración 12 y en la Tabla 13, que presenta una estructura en el 2010 un 66% de vehículos particulares, 15% de carga liviana, 3,3% de carga pesada, 1.1% de autobuses, 1.4% de taxis y 13% de motocicletas. Para el 2050 la estructura esperada sería 71,8% de vehículos particulares, 15% de carga liviana, 3,3% de carga pesada, 2.5% de autobuses, 2.2% de taxis y 5.1% de motocicletas.

**Ilustración 12. Composición porcentual de la Flota, 2010 - 2050**



**Fuente: Elaboración propia con base en datos de la DSE**

**Tabla 13. Estructura Proyectada de la Flota Vehicular, 2010-2050  
(Cifras en número de vehículos)**

Año	Particulares	Carga liviana	Carga Pesada	Autobuses	Taxis	Motocicletas
2010	806.525	184.603	40.586	13.536	17.093	158.815
2011	856.329	190.562	41.896	14.195	17.633	164.027
2012	911.339	196.886	43.286	14.912	18.220	169.124
2013	971.186	203.522	44.745	15.680	18.849	174.201
2014	1.036.399	210.490	46.277	16.504	19.525	179.244
2015	1.107.583	217.816	47.888	17.391	20.251	184.246
2016	1.185.517	225.543	49.587	18.346	21.034	189.260
2017	1.271.068	233.715	51.383	19.379	21.881	194.327
2018	1.365.073	242.352	53.282	20.496	22.796	199.393
2019	1.468.481	251.476	55.288	21.704	23.786	204.406
2020	1.582.355	261.108	57.406	23.012	24.858	209.303
2021	1.707.921	271.276	59.641	24.428	26.018	214.029
2022	1.846.600	282.012	62.002	25.964	27.277	218.542
2023	2.000.010	293.351	64.495	27.631	28.643	222.797
2024	2.170.001	305.333	67.129	29.443	30.128	226.748
2025	2.358.681	317.997	69.913	31.414	31.743	230.346
2026	2.565.640	331.227	72.822	33.533	33.480	233.592
2027	2.782.266	344.491	75.738	35.711	35.264	236.716
2028	2.955.347	357.755	78.654	37.940	37.091	239.724
2029	3.044.657	370.975	81.561	40.213	38.954	242.605
2030	3.084.629	384.320	84.495	42.564	40.880	245.237
2031	3.106.648	397.770	87.451	44.990	42.868	247.610
2032	3.127.698	411.308	90.428	47.489	44.916	249.735
2033	3.147.830	424.923	93.421	50.060	47.023	251.629

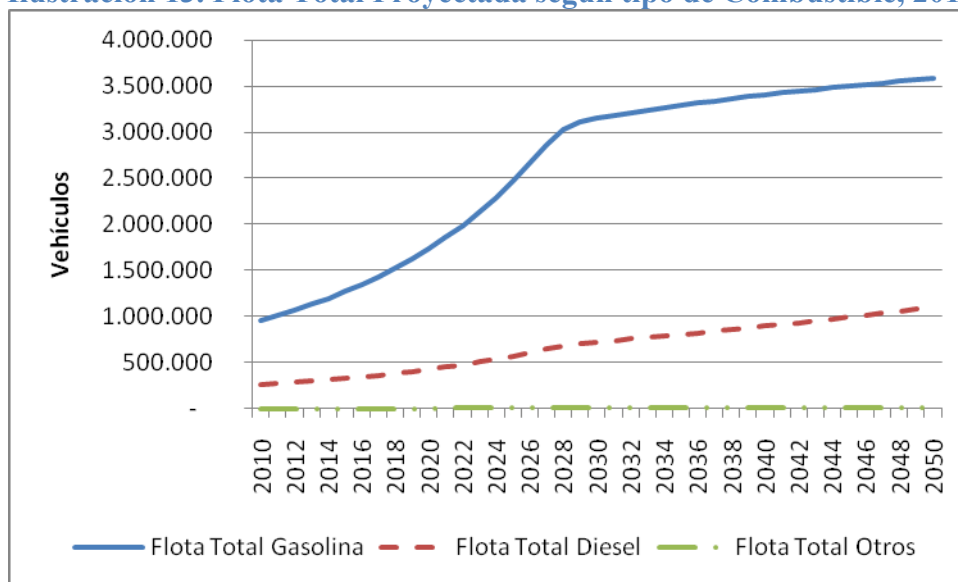
**Tabla 13. Continuación**

Año	Particulares	Carga liviana	Carga Pesada	Autobuses	Taxis	Motocicletas
2034	3.167.048	438.844	96.482	52.753	49.230	253.191
2035	3.185.331	453.071	99.610	55.572	51.540	254.412
2036	3.202.683	467.609	102.806	58.523	53.958	255.294
2037	3.219.162	482.469	106.073	61.612	56.490	255.859
2038	3.234.830	497.664	109.414	64.847	59.140	256.129
2039	3.249.696	513.198	112.829	68.233	61.915	256.112
2040	3.263.753	529.076	116.320	71.776	64.819	255.808
2041	3.277.019	545.303	119.887	75.483	67.857	255.228
2042	3.289.521	561.888	123.534	79.363	71.036	254.385
2043	3.301.290	578.842	127.261	83.422	74.363	253.296
2044	3.312.355	596.173	131.071	87.669	77.843	251.975
2045	3.322.750	613.892	134.967	92.113	81.485	250.439
2046	3.332.517	632.013	138.951	96.763	85.295	248.706
2047	3.341.677	650.545	143.025	101.628	89.282	246.790
2048	3.350.236	669.496	147.192	106.718	93.453	244.698
2049	3.358.283	688.890	151.456	112.046	97.819	242.463
2050	3.365.930	708.757	155.823	117.624	102.390	240.124

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la DSE

En términos del tipo de combustibles la flota proyectada se muestra en la Ilustración 13 así como la flota total esperada de vehículos.

**Ilustración 13. Flota Total Proyectada según tipo de Combustible, 2010-2050**



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la DSE

#### 4.6 LÍNEA BASE DE CONSUMO DE COMBUSTIBLES

Para el consumo de combustible se toma en cuenta el kilometraje anual esperado por año de la tabla 14, la cual se ha obtenido a partir del consumo de energía del 2009, el tamaño de la flota en esos años y las estimaciones de rendimiento que se verán posteriormente.

**Tabla 14. Recorrido Promedio al Año de la Flota Vehicular (Km)**

Combustible	Gasolina	Diesel	Otros
Particulares	10.452	10.452	13.688
Carga Liviana	21.812	21.812	21.813
Carga Pesada	0	64.240	0
Buses	0	62.129	0
Taxis	45.309	45.309	45.309
Motos	9.774	0	0

**Fuente: Elaboración propia**

Se realiza un ajuste de este kilometraje cada año, reconociendo que conforme más personas compran vehículos a través de los años, el recorrido promedio baja, pues el uso es menor como único medio de transporte. El programa de reducción a través de los años se indica en la Tabla 15, el cual se hace para todos los combustibles.

**Tabla 15. Programa de Reducción de Recorrido al año, 2015-2050**

Año	Mejora
2015	1,5%
2020	1,5%
2025	1,5%
2030	1,5%
2035	1,5%
2040	1,5%
2045	1,5%
2050	1,5%

**Fuente: Elaboración propia**

Otra variable por utilizar para el cálculo del consumo de combustibles es el rendimiento promedio de la flota, la cual es de acuerdo a la encuesta citada de CEPAL - Dirección Sectorial de Energía y que se muestra en la Tabla 16. Se supone que cada 5 años se renueva la flota y para ello se suavizó dicha distribución de antigüedad por medias

móviles y se da una renovación en la antigüedad de 5 años menos en la edad promedio de la flota. Esta renovación se distribuye a través de los años mediante una interpolación.

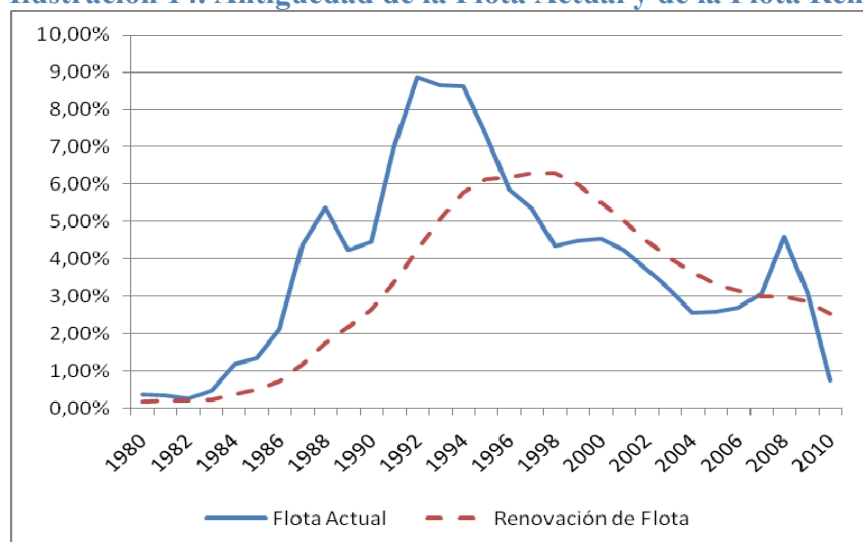
**Tabla 16. Rendimiento de la Flota Vehicular (Km por litro)**

Combustible	Gasolina	Diesel	Otros
Particulares	11	10	
Carga Liviana	9	12	8
Carga Pesada		10	
Buses		10	
Taxis	13	13	10
Motos	19		

**Fuente: CEPAL- DSE**

En la Ilustración 14, se muestra el patrón de antigüedad de la flota actual según los datos del INS. Se supone que cada 5 años se renueva la flota y para ello se suavizó dicha distribución de antigüedad por medias móviles y se da una renovación en la antigüedad de 5 años menos en la edad promedio de la flota. Esta renovación se distribuye a través de los años mediante una interpolación. En esta ilustración se observa que la flota se distribuye entre vehículos cuya antigüedad se distribuye a través de los años, la antigüedad promedio sigue esta distribución.

**Ilustración 14. Antigüedad de la Flota Actual y de la Flota Renovada**



**Fuente: Elaboración propia**



Con este proceso de renovación de la flota se aplican los rendimientos supuestos en la Tabla 17. La mejora de los rendimientos se distribuye a través de los años mediante una interpolación.

**Tabla 17. Rendimiento Observado y Proyectado, 1990-2050**  
**(En Km por litro)**

Año	Rendimiento
1990	7,9
1995	10,6
2000	11,9
2005	13,2
2010	15,9
2015	17,2
2020	18,5
2025	19,8
2030	21,1
2035	22,5
2040	23,8
2045	25,1
2050	26,4

**Fuente: Elaboración propia**

Como el rendimiento de la flota realmente es un promedio afectado por la antigüedad de los diversos vehículos, el resultado de se ve en la Tabla 18, en donde se muestra el programa de mejora en el rendimiento quinquenal que se espera.

**Tabla 18. Programa de mejora en rendimiento, 2015-2050**

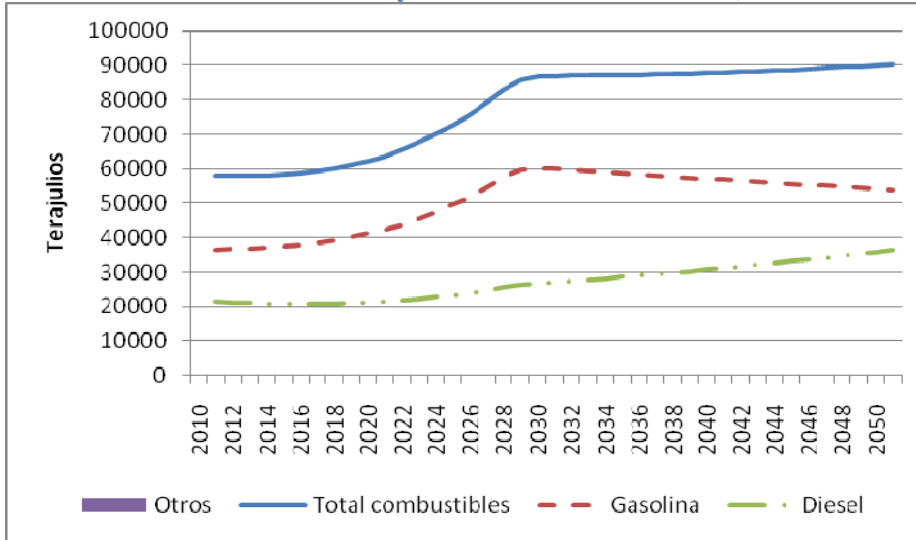
Año	Mejora
2015	22%
2020	19%
2025	13%
2030	9%
2035	7%
2040	6%
2045	6%
2050	6%

**Fuente: Elaboración propia**

En la Ilustración 15 se ofrece la línea base en el consumo de combustibles. Como se indicó en la primer informe de esta consultoría, un fenómeno interesante es que la combinación de disminución del recorrido anual de la flota y la mejora en el rendimiento, por lo que se llega a un punto de inflexión en el que el consumo total comienza a

disminuir, entre los años 2028 y 2030, como resultado de ese nivel de uso esperado del vehículo y las mejoras tecnológicas supuestas en la mejora de rendimiento.

**Ilustración 15. Consumo Proyectado de Combustibles, 2010-2050**

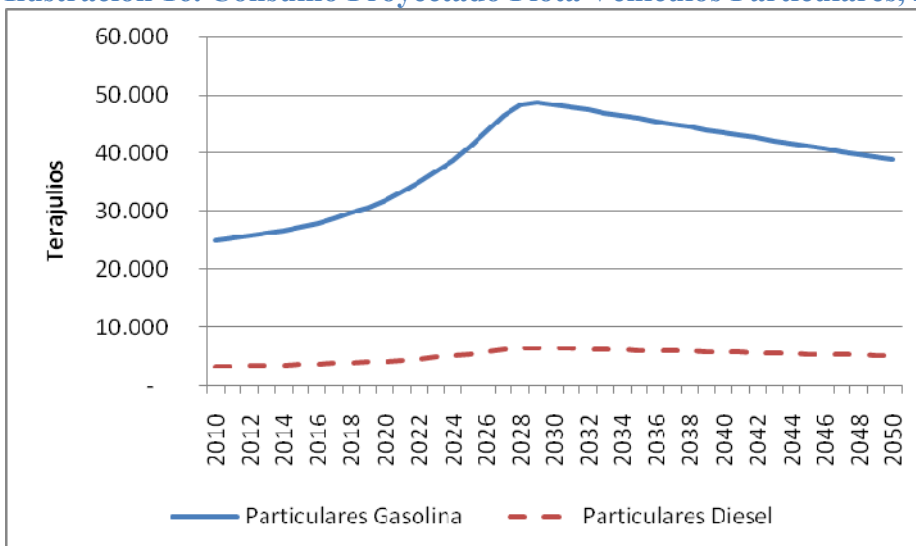


**Fuente: Elaboración propia con base en datos de la DSE**

#### 4.7 LÍNEA BASE DE CONSUMO POR TIPO DE FLOTA

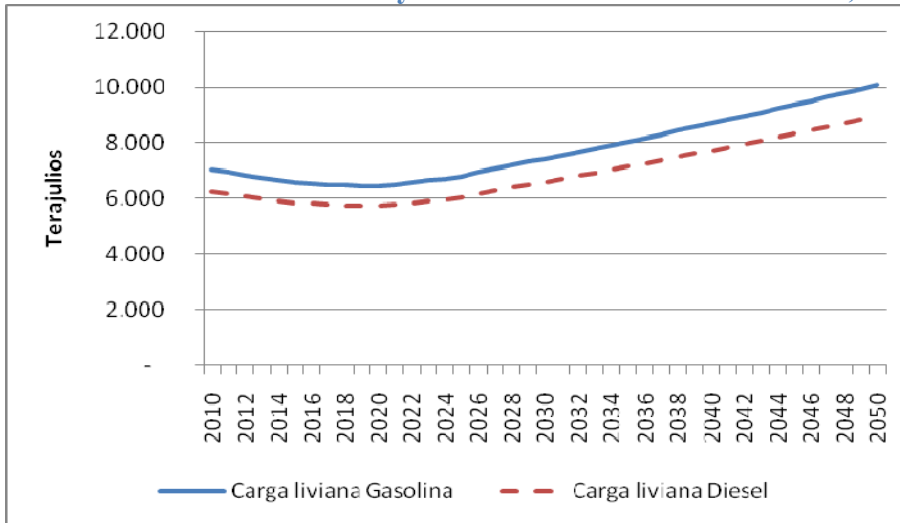
A continuación se ofrecen los gráficos que muestran la línea base de consumo de combustibles por tipo de flota.

**Ilustración 16. Consumo Proyectado Flota Vehículos Particulares, 2010-2050**



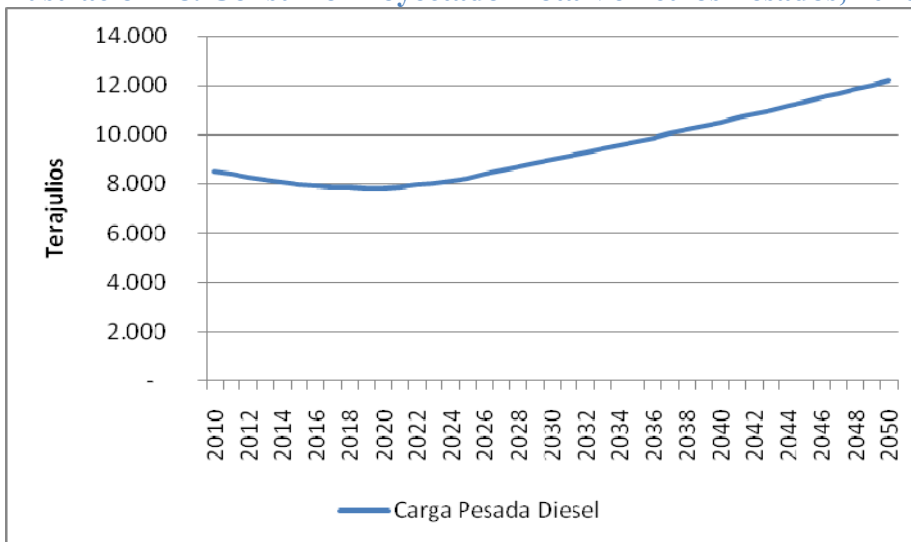
**Fuente: Elaboración propia**

**Ilustración 17. Consumo Proyectado Flota Vehículos Livianos, 2010-2050**



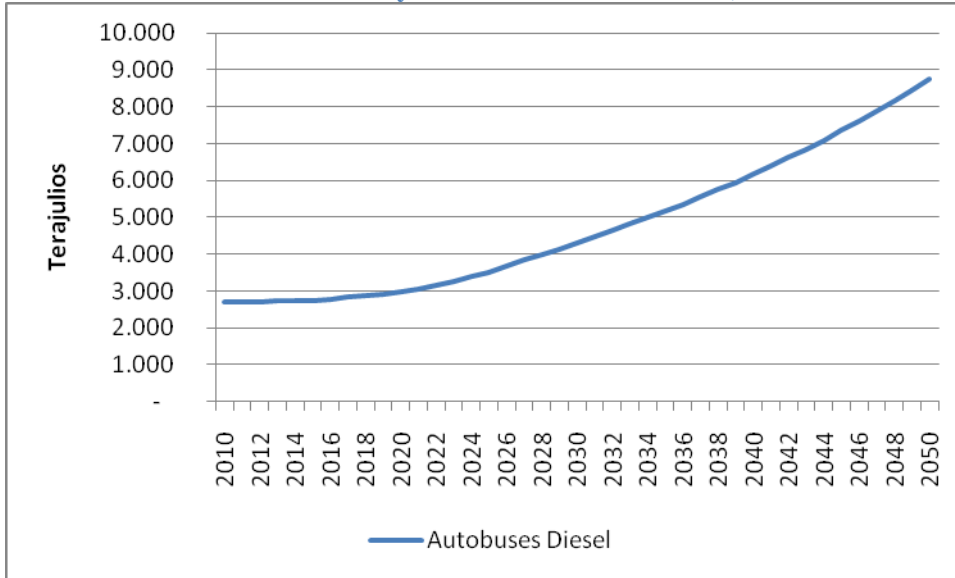
Fuente: Elaboración propia

**Ilustración 18. Consumo Proyectado Flota Vehículos Pesados, 2010-2050**



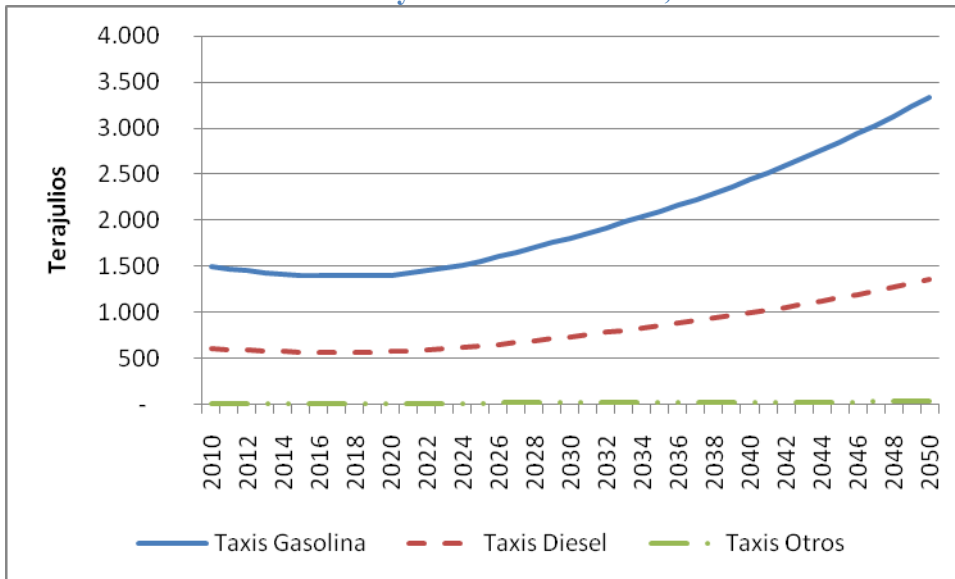
Fuente: Elaboración propia

**Ilustración 19. Consumo Proyectado Flota Autobuses, 2010-2050**



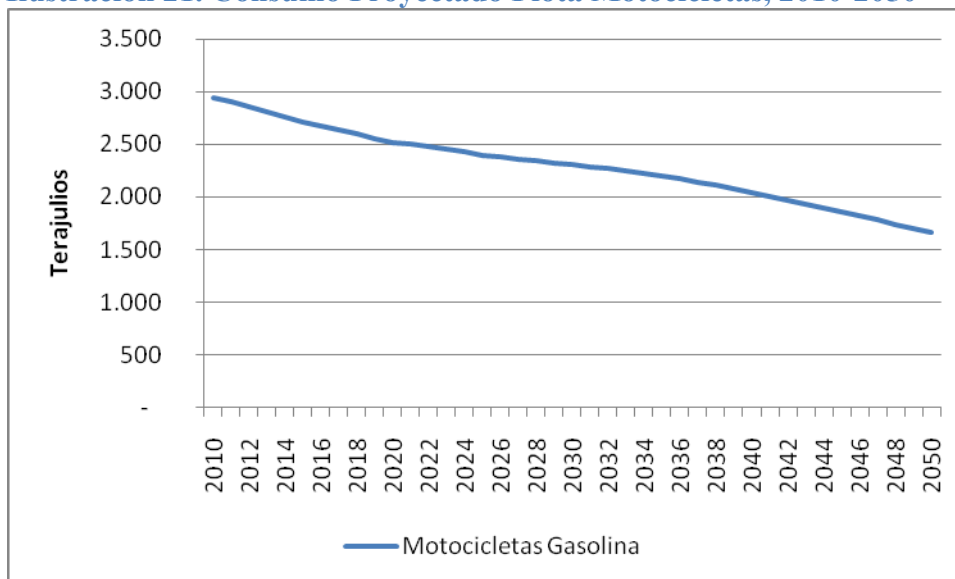
Fuente: Elaboración propia

**Ilustración 20. Consumo Proyectado Flota Taxis, 2010-2050**



Fuente: Elaboración propia

**Ilustración 21. Consumo Proyectado Flota Motocicletas, 2010-2050**



**Fuente: Elaboración propia**

## **5 ESCENARIOS DE TRANSPORTE ELECTRICO**

A continuación se ofrecen los cuatro escenarios alternativos al transporte en donde se evalúan aspectos económicos y ambientales para conocer su beneficio neto para la sociedad.

### **5.1 ESCENARIO 1. HÍBRIDOS, TRENES ELÉCTRICOS Y AUTOS ELÉCTRICOS.**

En este escenario 1 se exploran las medidas de intervención que se analizaron por parte de la Dirección Sectorial de Energía con base en la Consultoría de CONSENERGY (2009) en materia de Ingeniería con el fin de realizar un estudio para la introducción de Tecnologías Limpias y Eficientes en el Mercado Nacional.

En esta consultoría la DSE identificó un patrón de adopción de vehículos híbridos, autos eléctricos y un tren eléctrico, tanto de pasajeros en el Gran Área Metropolitana, como en puntas logísticas fuera del GAM. A este proyecto del tren eléctrico se le añaden los efectos de la integración del transporte público a un servicio de tren, así como los efectos de descongestionamiento resultante de ambas acciones.

La introducción de vehículos híbridos supone que el 30% de los autos particulares y taxis se cambian por un auto híbrido, tanto vehículos de gasolina como diesel. Se asume que el rendimiento de los autos híbridos es de 20,90 km/litro según el estudio de la DSE y CONSENERGY. Por otra parte, los autos eléctricos tienen un rendimiento de 6,2 km por Kwh. Estos datos se traducen a consumo de terajulios por kilómetros para estimar la energía sustituida de los autos de combustión convencionales. Según la consultoría de CONSENERGY, se considera un vehículo híbrido eléctrico (VHE) combina un motor de combustión interna y un motor eléctrico alimentado por baterías, fusionando las mejores características de los carros de motores de combustión de hoy en día y los vehículos eléctricos. La combinación permite al motor eléctrico y baterías ayudar al motor convencional a funcionar más eficientemente, bajando el uso de combustible. Al mismo tiempo, el motor de combustión de gasolina supera el limitado rango de conducción de un vehículo eléctrico.

El segundo proyecto es el tren eléctrico que supone un desplazamiento directo del 5% de los autos particulares, los autobuses y taxis, así como una sustitución del 50% en el transporte de carga. Para la estimación de energía ahorrada se asume una eficiencia energética de los motores de combustión del 40% y del 90% de los motores eléctricos. Según CONSENERGY, el tren ligero es un tranvía, que incluye segmentos parcial o totalmente segregados del tránsito vehicular, con carriles reservados, vías apartadas y en algunos casos por túneles en el centro de la ciudad construidos para las normas de tránsito rápido. El sistema de transporte ferroviario de pasajeros del tren ligero es de capacidad media a escala regional y metropolitana, por lo general de menor capacidad que el transporte por tren y metro. El tren ligero permite la conexión entre zonas peatonales en núcleos urbanos y zonas rurales, creando además nuevos potenciales de desarrollo urbano. La sustitución de la carga es con el proyecto Sistema Ferroviario y sus Puntas Logísticas, que consiste en la rehabilitación y operación del sistema ferroviario nacional y el desarrollo de terminales logísticas conexas, para construir una cadena logística para el transporte y distribución nacional e internacional de mercancías. El operador logístico prestará los servicios de intercambio modal marítimo-terrestre, el

almacenamiento de cargas, y su transporte a los centros de producción y distribución. No se darían servicios de transporte de pasajeros.

Sumado a este efecto directo, se tiene que el tren eléctrico implica una integración con el transporte público, lo que de acuerdo al estudio de la DSE y CONSENERGY se traduce en una disminución del 5% del tránsito en el GAM. Esta mejora, no solamente se debe enfocar en el cambio de las unidades de autobuses, sino más bien de lograr una diversificación del transporte público, esto implica no solamente cambiar las unidades de autobuses por otras más modernas, sino más bien implica la generación de una red de transporte pública interconectada, lo que significa incorporar el servicio de trenes que logren comunicar las provincias. Otra propuesta es la creación de servicios directos que conecten por ejemplo Cartago con Heredia y que la ruta no implique ingresar al casco central de la capital otra opción es hacer estación central de autobuses en la ciudad capital, con el objetivo que los autobuses de las diferentes rutas se tomen en un solo lugar. Dentro de estas mejoras en el transporte público se incluye también, el hecho de que se debe de realizar una re estructuración en las paradas de autobuses, además del incremento de las frecuencias de autobuses. Un punto importante en la mejora del transporte público es el sistema cobro con tarjeta prepago, que se aplicaría conjunto con el servicio de tren urbano.

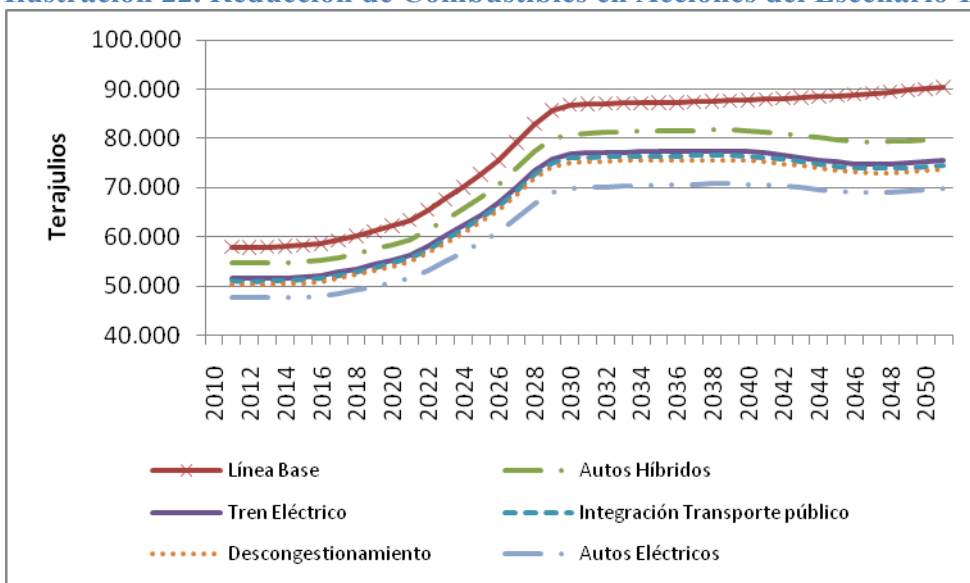
Adicionalmente, dicho estudio establece que ambas medidas producen un descongestionamiento en el GAM que tiene un impacto del 5% en reducción del flujo vehicular y en igual magnitud de la energía consumida.

Por último, se supone que un 15% de la flota de vehículos particulares y taxis se sustituye por autos eléctricos, con los rendimientos indicados antes. El vehículo eléctrico es una tecnología de combustible alternativo impulsado por uno o más motores eléctricos. La tracción puede ser proporcionada por ruedas o hélices impulsadas por motores rotativos, o en otros casos utilizar otro tipo de motores no rotativos, como los motores lineales, los motores inerciales, o aplicaciones del magnetismo como fuente de propulsión, como es el caso de los trenes de levitación magnética. A diferencia de un motor de combustión

interna que está diseñado específicamente para funcionar quemando combustible, un vehículo eléctrico obtiene la tracción de los motores eléctricos.

En la ilustración 22 se observa el resultado de estas medidas en la reducción del consumo de combustibles. Como se verá en el escenario 2 con más profundidad, se supone que para el 2030 la tecnología híbrida da paso a la de autos eléctricos enchufables, por lo que desde ese año las proporciones indicadas son de autos eléctricos, los cuales son adicionales a la flota de vehículos eléctricos que son adoptados desde el presente.

**Ilustración 22. Reducción de Combustibles en Acciones del Escenario 1**

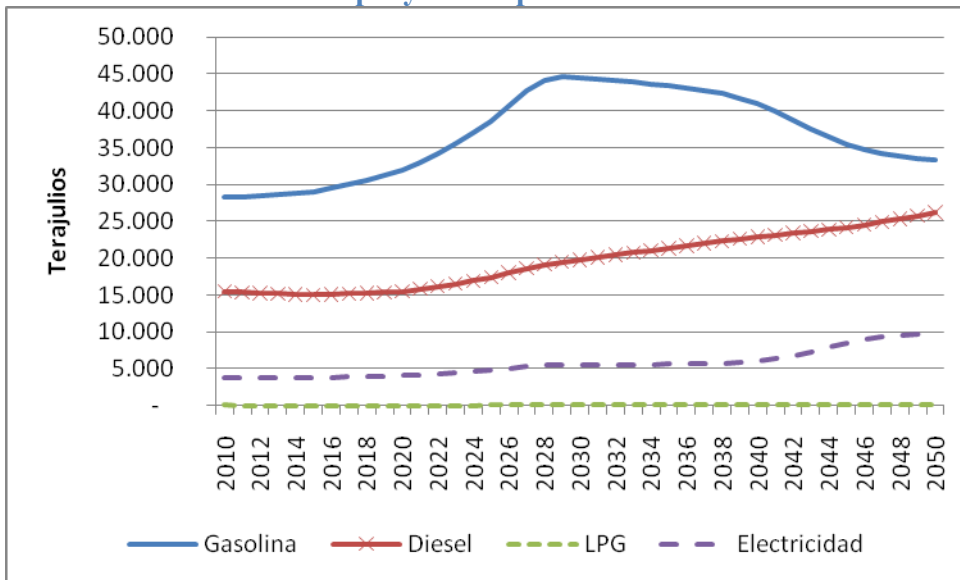


**Fuente: Elaboración propia con base en datos de la DSE**

La ilustración 23 muestra el consumo de combustibles en el escenario 1.



**Ilustración 23. Consumo proyectado por combustible en Escenario 1**



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la DSE

**5.2 ESCENARIO 2. SUSTITUCIÓN TOTAL DE FLOTA DE COMBUSTIÓN**

El escenario 2 se basa en un modelo de sustitución de autos de combustión por híbridos en una primera fase, para luego pasarse a la de vehículos eléctricos enchufables. Procede del trabajo de Iván Montes <sup>8</sup> y la metodología para estimar la introducción de tecnologías alternativas en Costa Rica se basa en un modelo de difusión desarrollado por el Ph.D. Gustavo O. Collantes de la Universidad de California. Según Collantes el proceso de difusión es afectado por tres factores generales: las características del mercado adoptante, las características del contexto socioeconómico, y por último las características propias de la tecnología. El modelo de sustitución de nuevas tecnologías asume que la evolución en una porción del mercado sigue una trayectoria logística, las cuales están expresadas matemáticamente como sigue:

$$\ln\left(\frac{nr}{N-nr}\right) = \alpha + \beta(t - t0)$$

Donde:

<sup>8</sup> Iván, Montes, Análisis del impacto por la introducción de una flotilla de vehículos eléctricos en el sistema eléctrico interconectado, San José: Tesis para optar por el grado de licenciatura en ingeniería eléctrica, 2009.

**nt:** es la fracción del mercado que la tecnología ha tenido en un dado punto del tiempo.

**N:** es la fracción del mercado que la tecnología puede potencialmente capturar.

**t0:** es el punto en el tiempo cuando la tecnología entra en el mercado.

**α y β:** son parámetros de la función logística. Esencialmente, el parámetro  $\alpha$  caracteriza el tiempo que toma el proceso de difusión en empezar a crecer. Mientras que el parámetro  $\beta$  caracteriza la pendiente de la parte central de la curva, en la literatura de innovación,  $\beta$  es conocida como la velocidad de la difusión. Los valores de  $\alpha$  y  $\beta$  son aplicados según la Tabla 19.

**Tabla 19. Parámetros de proyección tecnologías de vehículos híbridos y eléctricos.**

Parámetro	Vehículos híbrido eléctricos	Vehículos eléctricos
$\alpha$	-7.915	-15.857
$\beta$	0.55359	0.5359

Fuente: Iván Montes, 2009.

Según Montes, matemáticamente, la transición tecnológica planteada anteriormente se traduce en el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} \left(\frac{nt}{N}\right) VE &= \frac{1}{1 + \exp[-(\alpha VE + \beta VE(t-t_0))]} \\ \left(\frac{nt}{N}\right) HEV &= \frac{1}{1 + \exp[-(\alpha VHE + \beta VHE(t-t_0))]} - \left(\frac{nt}{N}\right) VE \\ \left(\frac{nt}{N}\right) VCI &= 1 - \left(\frac{nt}{N}\right) HEV - \left(\frac{nt}{N}\right) VE \end{aligned}$$

Donde:

**VE:** Vehículos eléctricos.

**HEV:** Hybrid-electric Vehicle.

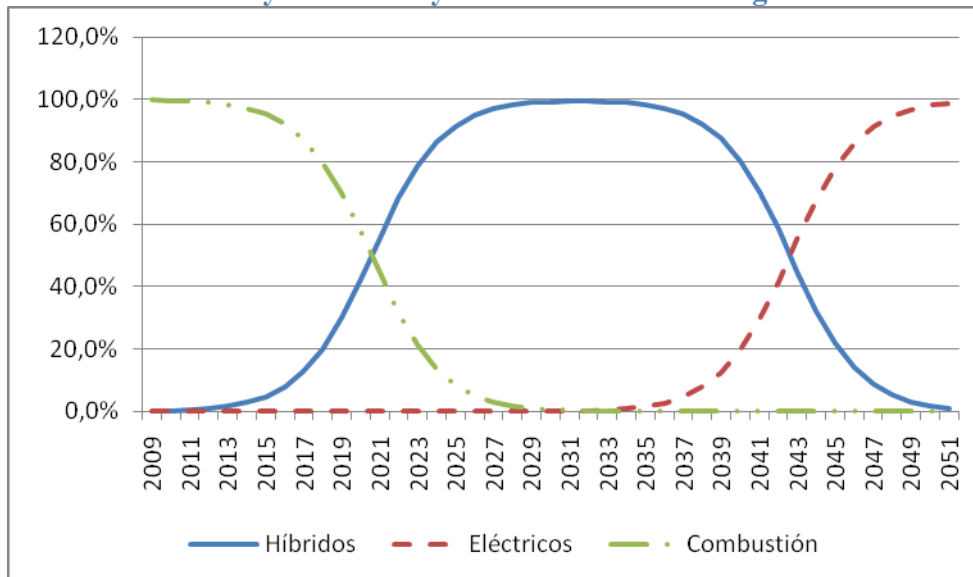
**VCI:** Vehículos de combustión interna.

El resultado del modelo se ve en las trayectorias de la Ilustración 24, en la que los vehículos de combustión interna van de prácticamente 100% de mercado a decaer para el 2050, los híbridos son una transición para que la flota llegue a ser eléctrica.

Lo que las líneas representan es la proporción de cada tipo de vehículo a través del tiempo. La línea verde (discontinua con dos puntos intermedios) es la trayectoria que

seguirán los vehículos de combustión interna, la cual inicia prácticamente con una proporción de 100% de los vehículos existentes en el 2010, pero a través de los años la proporción comienza a caer debido a la sustitución por autos híbridos (línea azul continua). Alrededor del 2030 es proporción llega al 100% de los vehículos del país, para comenzar un proceso de declive por la sustitución de vehículos completamente eléctricos (línea roja discontinua) , la cual alcanza el 100% del parque vehicular alrededor del 2050.

**Ilustración 24. Trayectoria Proyectada de Vehículos según Combustible**

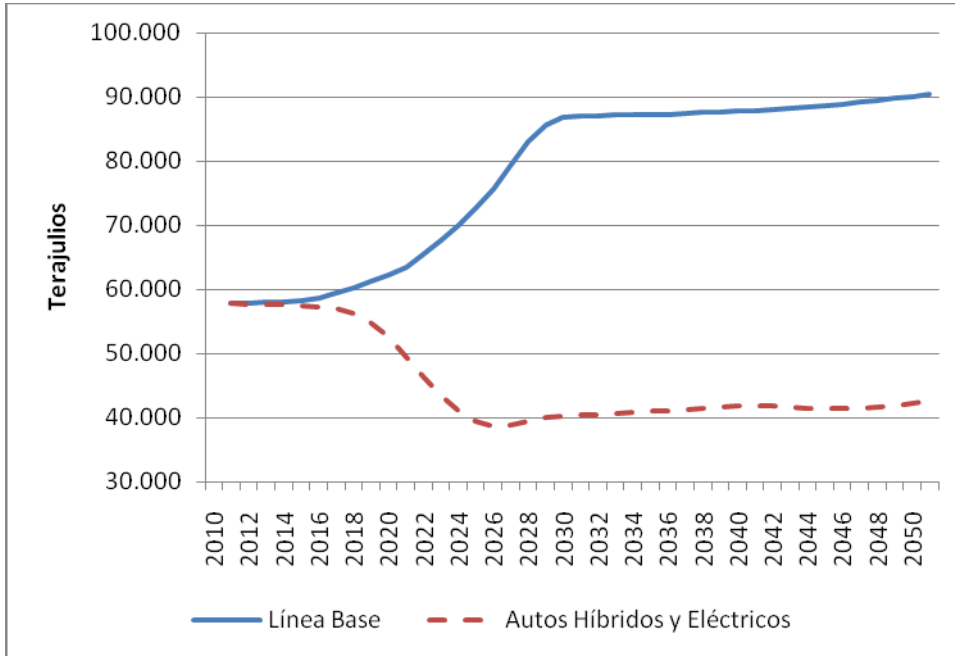


**Fuente: Elaboración propia con datos de Ivan Montes, 2009**

Este modelo de sustitución fue aplicado a las flotas de vehículos particulares, carga liviana y taxis y los resultados se observan en la Ilustración 25, en donde el impacto es importante, pero no se tiene tratamiento a la carga pesada ni a los autobuses.

Aunque en consumo de energía sigue siendo importante, al provenir una buena parte de fuentes eléctricas nacional, el resultado positivo no se percibe en el gráfico.

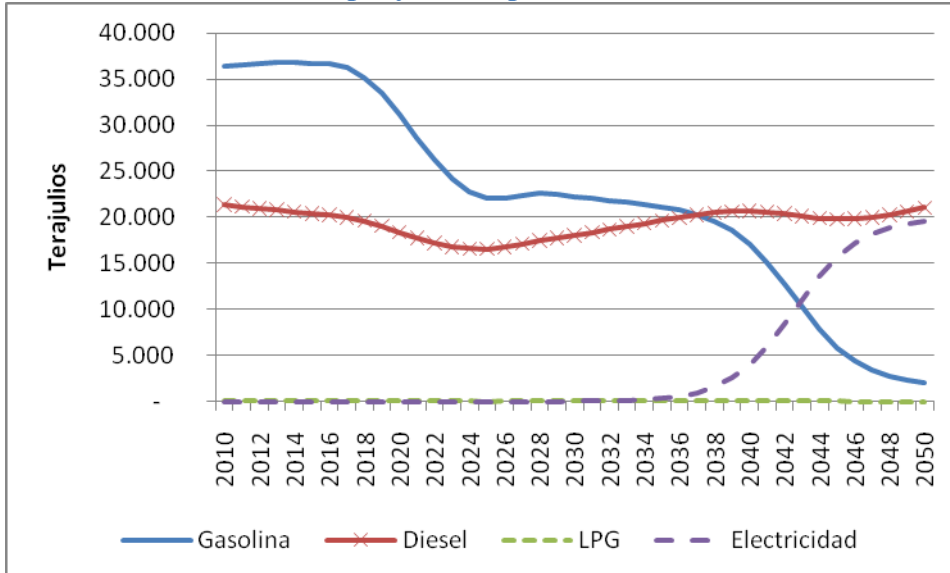
**Ilustración 25. Reducción de Combustibles en Acciones del Escenario 2**



**Fuente:** Elaboración propia con base en datos de la DSE

La ilustración 26 muestra los requerimientos de consumo de combustibles en el escenario 2.

**Ilustración 26. Consumo proyectado por combustible en Escenario 2**

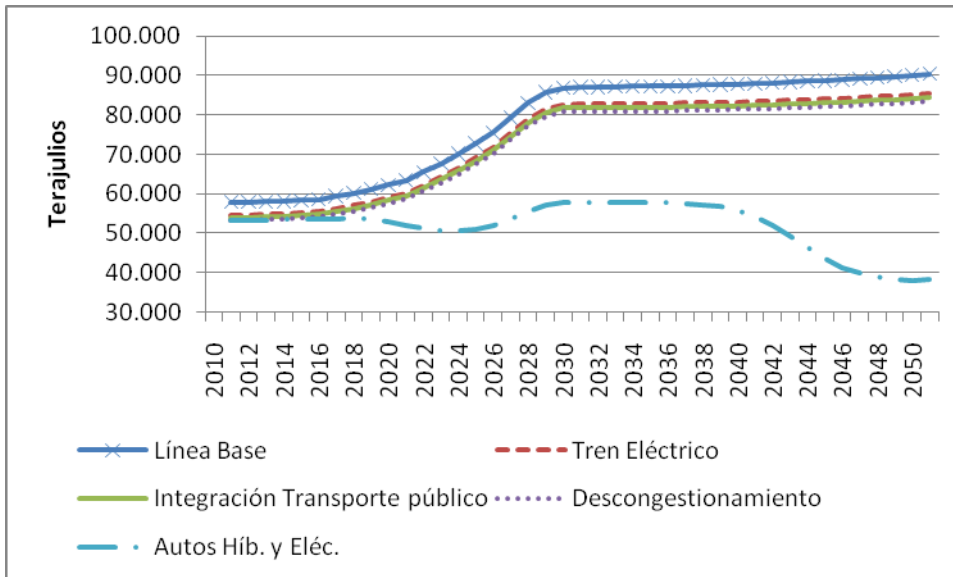


**Fuente:** Elaboración propia con base en datos de la DSE

### 5.3 ESCENARIO 3. TRENES ELÉCTRICOS Y SUSTITUCIÓN TOTAL DE FLOTA DE COMBUSTIÓN

Otro escenario es la adopción del tren eléctrico, la integración del transporte público y el descongestionamiento conjuntamente con el modelo de sustitución de Montes. Los resultados de este escenario se ven en la Ilustración 27, pero se observa que sigue siendo limitado el resultado del tren eléctrico.

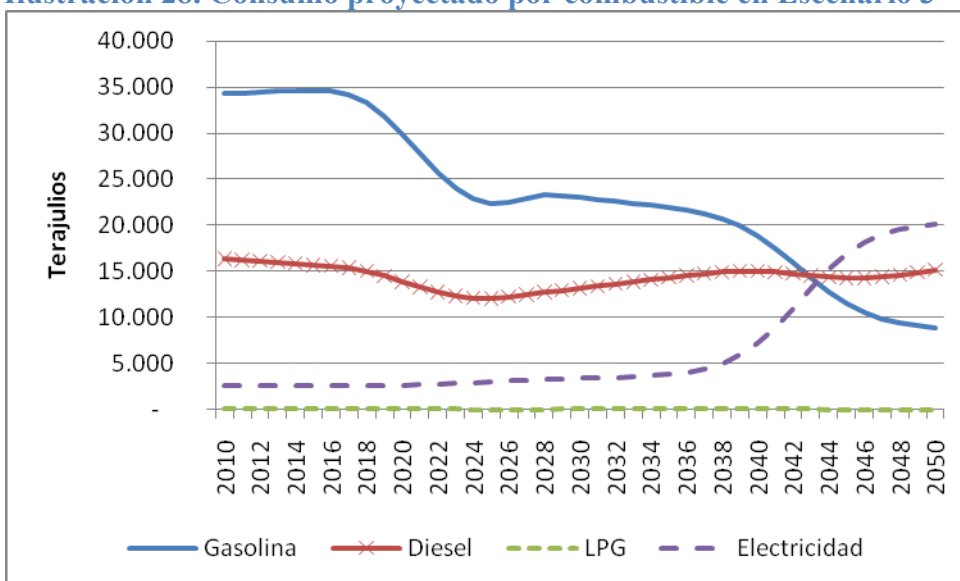
**Ilustración 27. Reducción de Combustibles en Acciones del Escenario 3**



**Fuente: Elaboración propia con base en datos de la DSE**

En la ilustración 28 se muestra los requerimientos de consumo de combustibles en el escenario 3.

**Ilustración 28. Consumo proyectado por combustible en Escenario 3**

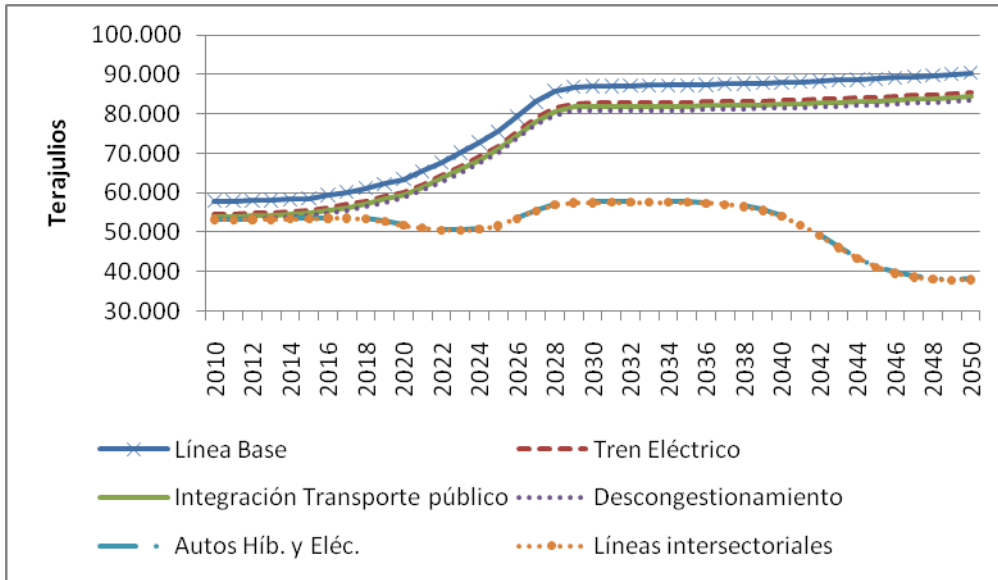


**Fuente:** Elaboración propia con base en datos de la DSE

#### **5.4 ESCENARIO 4. INTRODUCCIÓN DE RUTAS INTERSECTORIALES**

Este escenario consiste en una ampliación del escenario anterior, ya que se adiciona el proyecto de rutas intersectoriales que son 7 rutas que se supone serán brindadas por buses eléctricos. Las premisas de este escenario son que desplazará por en el 2010 9.942.049 personas, equivaliendo al 40% de las personas que se hubiesen trasladado alternativamente vía auto particular. Partiendo de que estos vehículos particulares recorren diariamente 20 km, se aplicaron los parámetros de rendimiento contenidos en el primer informe de esta consultoría para estimar el consumo evitado de combustibles fósiles y los requerimientos de electricidad para los autobuses. Los resultados de este escenario se ven en la Ilustración 29. Los efectos de las rutas son poco significativos, sin que represente una disminución en el consumo de energía proyectado.

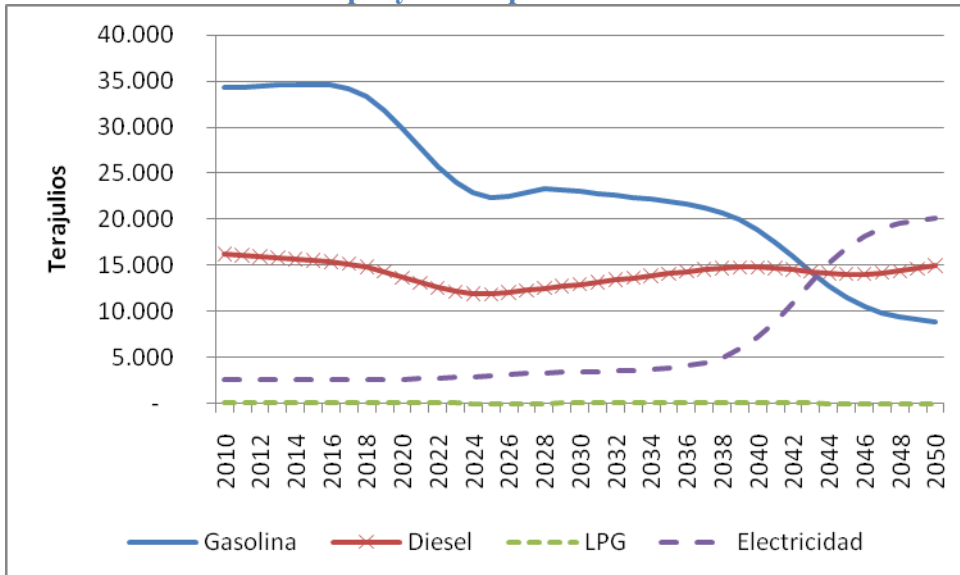
**Ilustración 29. Reducción de Combustibles en Acciones del Escenario 4**



**Fuente:** Elaboración propia con base en datos de la DSE

La ilustración 30 muestra el consumo de combustibles en el escenario 4.

**Ilustración 30. Consumo proyectado por combustible en Escenario 4**



**Fuente:** Elaboración propia con base en datos de la DSE

## 6 EVALUACIÓN ECONOMICA Y AMBIENTAL

A continuación se presentan las variables utilizadas para la evaluación económica y ambiental que realiza como parte de la presente consultoría.

Para esta evaluación se seguirá la metodología desarrollada por Vega y otros (2004), en el estudio Cuantificación de las externalidades en el transporte con tecnologías limpias, realizado para la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), y en el cual se presenta una metodología para analizar el impacto económico y ambiental del transporte eléctrico. Para los efectos de esta consultoría la metodología se adapta a los parámetros de este estudio.

De acuerdo a Vega y otros (2004) existe una gran cantidad de impactos ambientales y externalidades asociadas al transporte terrestre, y se trató de estimar la mayor cantidad de externalidades, sin embargo para algunas no existe la información necesaria ni el suficiente desarrollo de metodologías para establecer la función dosis-respuesta del impacto y estimar el valor económico correspondiente

En la Tabla 20 se presentan los costos directos y externalidades valorados en el mencionado estudio con las metodologías empleadas.

**Tabla 20. Costos Directos y Externalidades a Valorar**

<b>Costos directos</b>	<b>Metodología de valoración</b>
Adquisición del vehículo	<i>Precios de mercado</i>
Operación y mantenimiento	<i>Precios de mercado</i>
<b>Externalidades</b>	<b>Metodología de valoración</b>
Costo por contaminación del aire	
Daños a la salud	<i>Costo de enfermedad</i>
Daños por gases efecto invernadero	<i>Cambios en productividad</i>
Deterioro de edificios	<i>Costos mitigación</i>
Costo por contaminación sónica	
Daños a la salud humana	<i>Costos de restauración</i>
Contaminación de aguas por aceites	<i>Costos mitigación</i>
Contaminación por baterías	<i>Costos mitigación</i>



## 6.1 COSTOS DIRECTOS

### 6.1.1 Adquisición del Vehículo

Para el valor de los vehículos se establecen parámetros de la tabla 22, con base en datos de la Dirección General de Tributación Directa, sobre precios promedio de tipos de vehículos por tipo de combustible. Para buses eléctricos son de Vega y Otros (2004).

**Tabla 21. Cálculo de precios promedio de vehículos**

Marca	Año	Valor Hacienda ¢	Valor Importación ¢	Tipo de cambio 2009	Valor Hacienda \$	Valor Importación \$
<b>VEHICULOS COMBUSTION INTERNA</b>						
Yaris	2.010	16.900.000	9.126.000	578	29.239	15.789
THIDA	2.010	8.310.000	4.487.400	578	14.377	7.764
					<b>Promedio</b>	<b>11.776</b>
<b>VEHICULO ELECTRICO</b>						
MITSUBISHI	2.009	16.567.200	16.567.200	578	28.663	28.663
REVA	2.010	13.000.000	9.113.000	578	22.491	15.766
					<b>Promedio</b>	<b>22.215</b>
<b>VEHICULO CARGA LIVIANA</b>						
MAZDA	2.010	15.160.000	8.186.400	578	26.228	14.163
<b>VEHICULO CARGA PESADA</b>						
VOLVO	2.010	99.900.000	53.946.000	578	172.837	93.332
MACK	2.010	81.120.000	43.804.800	578	140.346	75.787
					<b>Promedio</b>	<b>84.560</b>
<b>AUTOBUS</b>						
VOLVO	2.009	40.500.000	21.870.000	578	70.069	37.837
MERCEDES BENZ	2.008	99.000.000	53.460.000	578	171.280	92.491
MERCEDES BENZ	2.009	46.590.000	25.158.600	578	80.606	43.527
					<b>Promedio</b>	<b>57.952</b>
<b>VEHICULO HIBRIDO</b>						
HONDA	2.010	24.220.000	13.078.800	578	41.903	22.628
TOYOTA PRIUS	2.010	18.160.000	9.806.400	578	31.419	16.966
					<b>Promedio</b>	<b>19.797</b>

Fuente: Elaboración propia basada en datos de la Dirección Sectorial de Energía

**Tabla 22. Costo de Vehículos Hidrocarburos, Híbridos y Eléctricos**

<b>Autos Eléctricos</b>	
Costo promedio de un vehículo carburado (\$)	21.791
Costo de un vehículo eléctrico (\$)	31.692
Costo Incremental (\$)	9.901
<b>Autos Híbridos</b>	
Costo promedio de un vehículo carburado (\$)	21.791
Costo Promedio de auto híbrido (\$)	32.437
Costo Incremental (\$)	10.647
<b>Autobuses</b>	
Bus Carburado (\$)	60.849
Bus Eléctrico (\$)	67.500
Costo Incremental (\$)	6.651

**Fuente:** Elaboración propia con base en DSE- CONSENERGY y Vega y Otros (2004)

## 6.1.2 Costos de Mantenimiento

Para la estimación del costo de mantenimiento se tomaron en cuenta el costo asociado al uso de baterías, cambio de aceite y combustibles. Los parámetros utilizados para estos cálculos se muestran a continuación.

En el caso de las baterías para autos hidrocarburos se toma en cuenta el número de cambios acorde con la vida útil de una batería y el costo asignado sigue a Vega y Otros (2004).

**Tabla 23. Variables Estimación Costos Baterías Vehículo Hidrocarburo**

<b>Vehículo</b>	<b>Unidades de Baterías Vehículo</b>	<b>Vida Útil (años)</b>	<b>Unidades de Baterías Año</b>	<b>Precio Batería (\$)</b>	<b>Costo Anual</b>
Auto particular	1,0	2,5	0,4	100,0	40,0
Carga liviana	1,0	2,5	0,4	100,0	40,0
Carga pesada	1,0	2,0	0,5	125,0	62,5
Buses público	1,0	2,0	0,5	125,0	62,5
Taxi público	1,0	2,5	0,4	100,0	40,0
Motos	1,0	2,5	0,4	30,0	12,0

**Fuente:** Vega y Otros (2004)

En el caso de los autos eléctricos los parámetros son mostrados en la tabla 24.

**Tabla 24. Variables Estimación Costos Baterías Vehículo Eléctrico**

<b>Vehículo</b>	<b>Unidades Baterías Vehículo</b>	<b>Vida Útil</b>	<b>Unidades Baterías Año</b>	<b>Precio Batería (\$)</b>	<b>Costo Anual (\$)</b>
Auto particular	13,0	5,0	2,6	250,0	650,0
Carga liviana	12,0	5,0	2,4	250,0	600,0
Carga pesada	26,0	5,0	5,2	250,0	1.300,0
Buses público	26,0	5,0	5,2	250,0	1.300,0
Taxi público	13,0	5,0	2,6	250,0	650,0
Motos	4,0	5,0	0,8	120,0	96,0

**Fuente: Vega y Otros (2004)**

Para los costos por cambio de aceite se toma en cuenta el kilometraje entre cambio y cambio de aceite el recorrido estimado por tipo de vehículo por año y por consiguiente la cantidad de cambios al año. Igualmente se contempla la cantidad de cuartos de galón por auto.

**Tabla 25. Variables para Estimar Costos por Lubricantes.**  
**Cifras en \$**

<b>Vehículo</b>	<b>Km/por cambio</b>	<b>Km recorridos/ Año</b>	<b>Cuartos/ cambio</b>	<b>Costo/ Cuarto (\$)</b>	<b>Cambios/ Año (veces)</b>	<b>Costo Anual (\$)</b>
Auto particular	3.500,0	10.452	4,0	4,4	3,0	52,3
Carga liviana	3.500,0	21.812	4,0	4,4	6,2	109,2
Carga pesada	5.000,0	64.240	48,0	4,4	12,8	2.701,2
Buse público	5.000,0	62.129	40,0	4,4	12,4	2.177,0
Taxi público	3.500,0	45.309	4,0	4,4	12,9	226,8
Motos	3.500,0	9.774	0,5	4,4	2,8	6,1

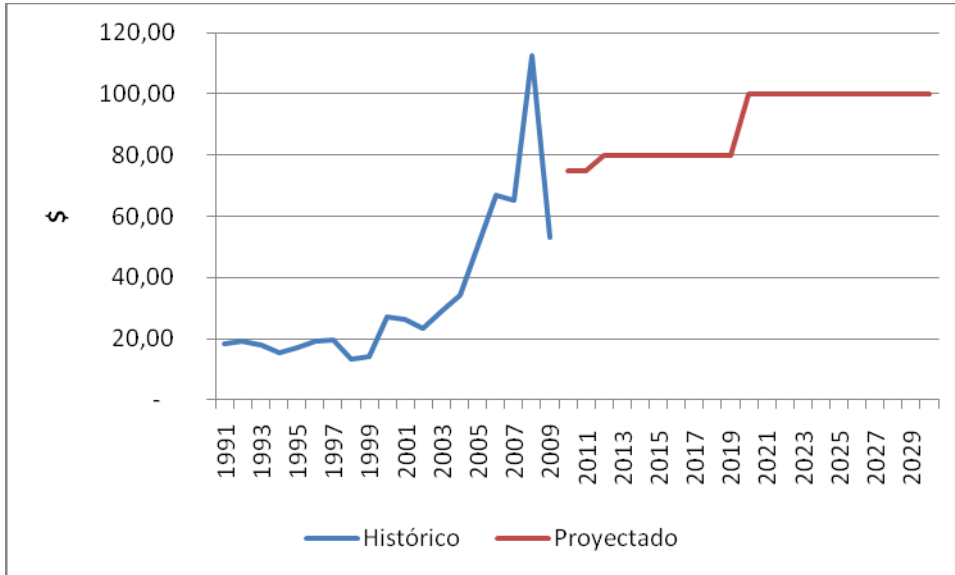
**Fuente: Vega y Otros (2004)**

Para el consumo de combustible se toma en cuenta el kilometraje anual esperado por año y el rendimiento de la flota vehicular establecidos en esta consultoría.

### **6.1.3 Precios de los combustibles**

En la proyección de los precios de los combustibles se sigue a Pratt y Otros (2010), en donde se realiza un supuesto sobre el precio futuro del petróleo, tal y como se muestra en la ilustración 31.

#### **Ilustración 31. Precio del Petróleo: Histórico y Proyectado**



**Fuente: Elaboración propia con datos de Pratt y otros, 2010**

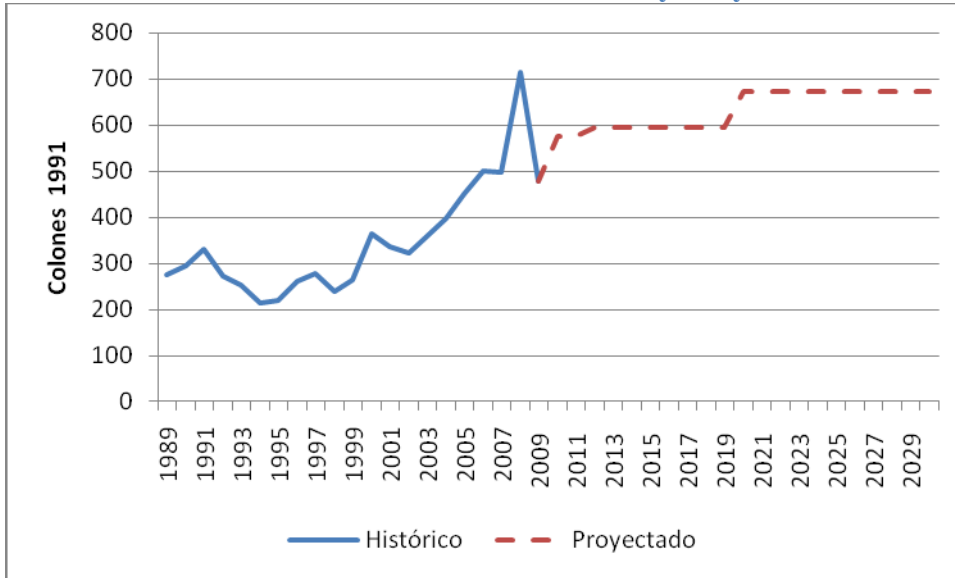
Los precios tanto de la gasolina y del diesel se realizan en Pratt y Otros (2010) con modelos regresivos que se muestran a continuación con los resultados de proyección.

**Tabla 26. Resultados de la Regresión Precio de la Gasolina respecto Precio del Petróleo**

<i>Regression Statistics</i>					
Multiple R	0,94				
R Square	0,874				
Adjusted R	0,87				
Standard Error	0,093				
Observations	19				
	<i>Coefficients</i>	<i>Stand Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>
Intercept	4,032952808	0,157460902	25,61241	5,08E-15	3,700739
Ln(Precio Petr)	0,537669718	0,049028995	10,96636	3,94E-09	0,434228

**Fuente: Elaboración propia**

**Ilustración 32. Precio de la Gasolina: Histórico y Proyectado**



**Fuente: Elaboración propia con datos de Pratt y otros, 2010**

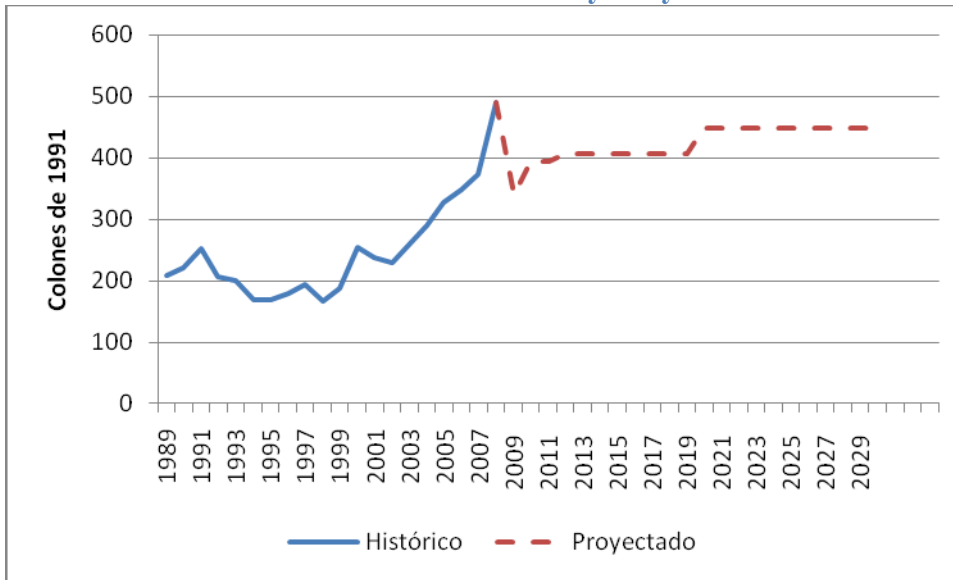
En el caso del precio del diesel, la tabla 27 muestra los resultados del ajuste respecto al precio del petróleo.

**Tabla 27. Resultados de la Regresión Precio del Diesel respecto Precio del Petróleo**

<i>Regression Statistics</i>					
Multiple R	0,99				
R Square	0,97				
Adjusted R	0,97				
Standard Error	0,038				
Observations	9				
	<i>Coefficients</i>	<i>Stand Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>
Intercept	4,066134	0,096628	42,08051	1,12E-09	3,837646
Ln(Precio Petr)	0,442939	0,027523	16,09353	8,69E-07	0,377858

**Fuente: Elaboración propia**

**Ilustración 33. Precio del Diesel: Histórico y Proyectado**



**Fuente: Elaboración propia con datos de Pratt y otros, 2010**

En el caso del LPG se observó la relación de su precio respecto al Diesel y se encontró una relación promedio de  $\phi 0.57$  por  $\phi 1$  en el precio del diesel y se siguió manteniendo dicha relación.

Por último, para el precio de la electricidad se realizó un ajuste econométrico de la tarifa residencial promedio respecto al producto interno bruto. Este ajuste se hizo en con un modelo logarítmico y los resultados estadísticos se muestra en la tabla 28.

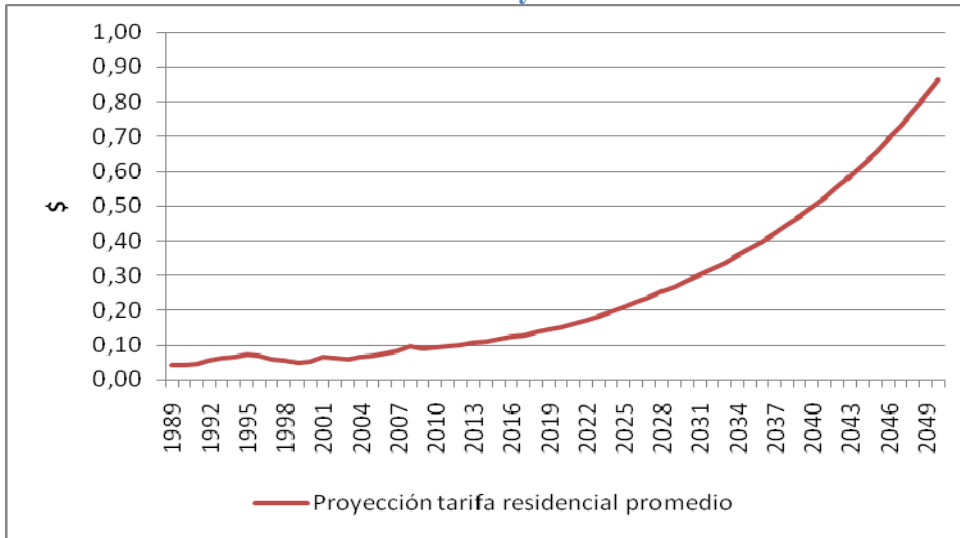
**Tabla 28. Resultados de la Regresión Tarifa Residencial Promedio respecto al PIB**

<i>Regression Statistics</i>					
Multiple R	0,93				
R Square	0,87				
Adjusted R	0,85				
Standard Error	0,08				
Observations	10				
	<i>Coefficients</i>	<i>Stand Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>
Intercept	-20,6337	2,481051	-8,31652	3,3E-05	-26,355
Ln(PIB)	1,252532	0,173297	7,227653	9E-05	0,852908

**Fuente: Elaboración propia**

De la proyección de la tarifa residencial promedio se tomó la tasa de crecimiento y se aplica a la tarifa para horario nocturno, que se ubica en el 2010 en \$0,47 por kWh (DSE).

**Ilustración 34. Tarifa Residencial Proyectada**



**Fuente:** Elaboración propia con base en datos de la DSE

**Tabla 29. Proyección de Tarifa Promedio Residencial**

Año	Tarifa Residencial	Tasa de crecimiento	Año	Tarifa Residencial	Tasa de crecimiento
2010	0,09	3%	2031	0,30	6%
2011	0,10	4%	2032	0,32	6%
2012	0,10	5%	2033	0,34	6%
2013	0,11	5%	2034	0,36	6%
2014	0,11	5%	2035	0,38	6%
2015	0,12	5%	2036	0,40	6%
2016	0,12	5%	2037	0,42	6%
2017	0,13	5%	2038	0,45	6%
2018	0,14	6%	2039	0,47	6%
2019	0,14	6%	2040	0,50	6%
2020	0,15	6%	2041	0,53	6%
2021	0,16	6%	2042	0,56	6%
2022	0,17	6%	2043	0,59	6%
2023	0,18	6%	2044	0,62	6%
2024	0,20	7%	2045	0,66	6%
2025	0,21	7%	2046	0,69	6%
2026	0,22	7%	2047	0,73	6%
2027	0,24	7%	2048	0,77	6%
2028	0,25	6%	2049	0,82	6%
2029	0,27	6%	2050	0,86	6%
2030	0,29	6%			

**Fuente:** Elaboración propia con base en datos de la DSE

La tabla 30 muestra la trayectoria proyectada de la energía eléctrica.

**Tabla 30. Precios Proyectados de los Combustibles  
(Cifras en dólares)**

<b>Año</b>	<b>Gasolina</b>	<b>Diesel</b>	<b>LPG</b>	<b>KWh</b>
2010	1,15	0,79	0,66	0,047
2011	1,16	0,79	0,66	0,049
2012	1,20	0,82	0,69	0,051
2013	1,21	0,82	0,69	0,053
2014	1,21	0,83	0,69	0,056
2015	1,22	0,83	0,70	0,058
2016	1,23	0,84	0,70	0,061
2017	1,23	0,84	0,70	0,064
2018	1,24	0,85	0,71	0,068
2019	1,25	0,85	0,71	0,072
2020	1,41	0,94	0,80	0,076
2021	1,42	0,95	0,81	0,080
2022	1,43	0,95	0,81	0,085
2023	1,43	0,96	0,82	0,090
2024	1,44	0,96	0,82	0,096
2025	1,45	0,97	0,82	0,103
2026	1,45	0,97	0,83	0,110
2027	1,46	0,98	0,83	0,117
2028	1,47	0,98	0,84	0,125
2029	1,48	0,99	0,84	0,133
2030	1,48	0,99	0,85	0,141
2031	1,49	1,00	0,85	0,150
2032	1,50	1,00	0,85	0,159
2033	1,51	1,01	0,86	0,168
2034	1,51	1,01	0,86	0,178
2035	1,52	1,02	0,87	0,188
2036	1,53	1,02	0,87	0,198
2037	1,54	1,03	0,88	0,209
2038	1,54	1,03	0,88	0,221
2039	1,55	1,04	0,88	0,234
2040	1,56	1,04	0,89	0,247
2041	1,57	1,05	0,89	0,261
2042	1,58	1,05	0,90	0,276
2043	1,58	1,06	0,90	0,292
2044	1,59	1,06	0,91	0,308
2045	1,60	1,07	0,91	0,326
2046	1,61	1,07	0,92	0,344
2047	1,62	1,08	0,92	0,364
2048	1,62	1,09	0,93	0,384
2049	1,63	1,09	0,93	0,406
2050	1,64	1,10	0,93	0,429

**Fuente: Elaboración propia con base en datos de la DSE**



## 6.2 COSTO INDIRECTOS: EXTERNALIDADES

### 6.2.1 Costo por Salud

Para la estimación de costos ambientales sobre la salud se sigue nuevamente a Vega y Otros (2004) en donde se observan los costos de contaminación relacionados con enfermedades respiratorias agudas, el costo de hospitalización, consulta y pérdida de tiempo.

De todos los contaminantes que normalmente se cuantifican, hay un grupo cuyos efectos principalmente son directos en la salud humana, en el corto plazo, manifestados como IRA (Infecciones Respiratorias Agudas (IRA, que incluye neumonía, influenza, bronquitis, bronquiolitis, tos, resfrío, rinorrea, etc.)). En la Tabla 31 se observan los principales contaminantes atmosféricos y sus efectos. El CO<sub>2</sub>, el metano, el N<sub>2</sub>O, son gases de efecto invernadero y sus efectos están en el cambio climático. El CO, el total de partículas en suspensión (TPS), o las menores a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>), los óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>), el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), el plomo (Pb) y los Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC), son los de efectos directos en la salud.

Respecto al TPS, de ellas, son respirables, esto es que traspasan las mucosas y vellosidades protectoras humanas, las de un tamaño menor a 10 micrómetros. Por eso, del total, este estudio se concentrará en las PM<sub>10</sub> (Vega y Otros, 2004).

**Tabla 31. Factores de emisión para contaminantes nocivos a la salud. (Cifras en Kg/Ton de combustible)**

Contaminante	Gasolina	Diesel	Principal efecto
PM <sub>10</sub>	2,0	2,4	IRA
SO <sub>2</sub>	0,5	1,9	IRA
NO <sub>x</sub>	10,3	11	IRA
HC	14,5	2,6	Carcinógeno
CO	37,7	43,5	Corazón, IRA, CC
CO <sub>2</sub>	2739,3	2906,35	Cambio Climático

**Fuente: Vega y otros (2004)**

En la siguiente tabla 32 se observan las fuentes de contaminantes y la proporción debida a transporte. El porcentaje de 47.66% significa que del total de emisiones de gases de efectos directos sobre la salud, las emisiones vehiculares son responsables del 47.66%.

**Tabla 32. Emisiones de fuentes móviles excluyendo GEI  
(Cifras en Gigagramos)**

Combustible	CO	NOx	N2O	NMVOC	SO2	Total
Gasolina	91,6	4	0,05	18,1	0,23	113,98
Diesel	4,9	9,6	0,05	1,85	0,76	17,16
Total	96,5	13,6	0,1	19,95	0,99	131,14
Total emisiones 1996	206,46	24,7	7,4	33,92	2,67	275,15
Porcentaje fuentes móviles	46,74%	55,06%	1,35%	58,81%	37,08%	47,66%

**Fuente: Vega y otros (2004)**

De acuerdo con Vega y Otros, no todas son problemáticas en Costa Rica, ya que en algunas de ellas no hay valores por encima de la norma, que, se supone, es el valor máximo tolerable y que está dentro de la “capacidad de carga” humana. Por lo tanto, los contaminantes críticos para la salud en Costa Rica son el CO, el SO2 y el PM10. El supuesto acá es que los gastos en salud por IRA se deben al exceso de emisiones sobre la norma de estos contaminantes.

**Tabla 33. Emisiones de fuentes móviles excluyendo GEI  
(Cifras en Microgramos por m<sup>3</sup>)**

Contaminante	Promedio anual	Norma anual	% exceso
PM10	55	50	10,00%
SO2	87,6	80	9,50%
CO	9,6	9	6,40%
NOx	11	100	-89,00%
HC	nd	160	

**Fuente: Vega y otros (2004)**

Con base en el dato promedio del salario para el seguro en salud, que calcula la CCSS para empresa privada, servidoras domésticas, instituciones autónomas, gobierno central, ingresos de cuenta propia y asalariados con convenios especiales, se adiciona el aguinaldo al multiplicar por 13 y se dividió entre 365.

Luego obtuvo un cálculo del valor del día. Con ello se toman en cuenta las estadísticas de casos por IRA de la CCSS (Según Vega y Otros, 2004)

**Tabla 34. Costo por internamiento promedio GAM calculados en el 2002**

Costo por Consulta (\$)	Días perdidos por Consulta	Valor del Día perdido (\$)	Costo total consulta (\$)	Consultas por IRA (año 2000)	Total (\$)
30	1	13	37	2.362.693	87.723.679

Fuente: Vega y otros (2004)

Para el cálculo de los días por incapacidades se toman en cuenta las estadísticas de la CCSS (Según Vega y Otros, 2004).

**Tabla 35. Días perdidos por incapacidad por IRA**

Causa de Morbilidad	Incapacidades	Días por Incapacidades	Total días perdidos x Incapacidades
Infec. Agud Respiratorias	85.764	2	185.250
Influenza y Neumonía	21.303	3	53.257
Otras Infec. Respiratorias	100	2	202
Otras Infec. Respiratorias	223	8	1.805
Enferm Crónic Respiratorias	19.625	3	63.782
Enfermedades Pulmón	383	1	517
Otras Enferme Respiratorio	256	4	910
<b>TOTAL</b>			<b>305.723</b>

Fuente: Vega y otros (2004)

Los días perdidos y su valor en muestran en la tabla siguiente.

**Tabla 36. Pérdida de productividad por días perdidos**

Valor del Día perdido	Total días perdidos x incapacidades	Total
13.36	305.723	4.084.856

Fuente: Vega y otros (2004)

**Tabla 37. Total de Pérdida por Efecto en la Salud**

<b>Costo por año \$</b>	<b>% emisiones Sector Transporte</b>	<b>Costo Morbilidad Sector Transp. \$</b>
128.745.127	47,66%	61.359.927

Fuente: Vega y otros (2004)

Todos estos anteriores costos suman \$61.359.927 y se prorratan de acuerdo a la importancia relativa de cada contaminante, como se observa en la siguiente tabla 38.

**Tabla 38. Prorrato del costo de morbilidad**

<b>Contaminante</b>	<b>% emisión sobre norma</b>	<b>Ponderador</b>	<b>Costo Total por Contaminante. (\$)</b>
PM10	10,00%	39%	23.930.372
SO2	9,50%	37%	22.703.173
CO	6,40%	25%	15.339.982
Total	26%	100%	61.359.927

Fuente: Vega y otros (2004)

Para un costo por contaminante emitido se usa el exceso de emisiones que se muestra en la tabla 39.

**Tabla 39. Exceso de emisiones por contaminante crítico**

<b>Contaminante</b>	<b>Emisiones totales (Kg)</b>	<b>% emisión sobre norma (Kg)</b>	<b>Exceso emisiones (Kg)</b>
PM10	894.287	10,00%	89.429
SO2	2.670.000	9,50%	252.816
CO	206.460.000	6,40%	13.305.200
Total		26%	

Fuente: Vega y otros (2004)

Por último, se usa el valor por Kg de contaminante, lo cual se aplicará a partir de las estimaciones de combustibles por vehículo de este estudio.

**Tabla 40. Costo unitario de la contaminación que provoca IRA**

<b>Contaminante</b>	<b>Costo Total por contaminante \$</b>	<b>Exceso Emisiones (Kg)</b>	<b>Costo unitario \$/kg</b>
PM10	23.930.372	89.429	267,59
SO2	22.703.173	252.816	89,80
CO	15.339.982	13.305.200	1,15
Total	61.359.927		

**Fuente: Vega y otros (2004)**

## 6.2.2 Costo Cambio Climático

Para valorar los efectos sobre el cambio climático se han establecido los parámetros en la Tabla 41, que establecen los efectos de emisión que se espera de gases de efecto invernadero por las emisiones procedentes de los combustibles fósiles. Estos factores se aplican al consumo de energía en terajulios de cada vehículo.

**Tabla 41. Factores de Emisiones por Tipo de Combustible**

<b>Combustible</b>	<b>Emisiones</b>	<b>Unidad</b>
LPG	0,0691	Gigagramos CO <sub>2</sub> / TJ
Diesel	0,0742	Gigagramos CO <sub>2</sub> / TJ
Gasolina	0,0700	Gigagramos CO <sub>2</sub> / TJ

**Fuente: IPCC**

Para el precio del la tonelada métrica de CO<sub>2</sub> se usa \$7,08 por tonelada métrica de CO<sub>2</sub> equivalente, el cual se basa en los estudios del estudio de René Castro (1999). De sus datos se desprende que el 80% del total de Carbono que fija el proyecto de Castro, y por tanto, del CO<sub>2</sub> que secuestra, se consolidaría a un precio de \$26/TM de C equivalente, esto es U\$ 7.08/Ton CO<sub>2</sub>.

## 6.2.3 Contaminación Sónica

Para la medición de los costos externos por ruido el estudio de Vega y Otros (2004) utiliza el método de los gastos por medidas defensivas. De esta forma se está valorando el bienestar que significa para la sociedad disponer de un ambiente sin ruido, que significa adecuar el ambiente para disponer de tal beneficio. Para efectos de ese estudio la medida defensiva es, adaptar las edificaciones (casas y edificios) existentes con un doble

acristalamiento o la sustitución de ventas de vidrio normal con vidrio laminado. Esta medida permitiría reducir el ruido al menos en un 80%.

Los valores por tipo de vehículo se observan en la tabla 42.

**Tabla 42. Costos Indirectos por Ruido Vehicular**  
**En \$ por tipo de vehículo**

<b>Tipo Vehículo</b>	<b>Participación % del Tipo Vehículo</b>	<b>Factor de ajuste en Ruido</b>	<b>Costo defensivo / Vehículo (\$)</b>	<b>Costo Defensivo Total (\$)</b>
Auto particular	46,40%	2,50%	1,74	26.908
Carga liviana	20,00%	2,50%	1,74	11.583
Carga pesada	3,80%	25,00%	17,41	22.064
Buses público	1,10%	25,00%	17,41	6.257
Taxi público	0,40%	2,50%	1,74	219
Motos	15,80%	12,50%	8,71	45.751
Total	100,00%	100,00%	7,74	121.916

Fuente: Vega y otros (2004)

#### **6.2.4 Limpieza de edificios**

El deterioro de las fachadas de edificios puede darse a dos niveles, uno a nivel superficial por suciedad en las paredes debido a la acumulación de partículas del humo de los vehículos y otros factores de deterioro, y a nivel de daños estructurales. Para efectos de este estudio se estiman los primeros con base en Vega y Otros (2004), es decir los costos por suciedad en las paredes de los edificios producida por los vehículos.

Al igual que para el caso del ruido, en este caso las externalidades negativas por deterioro del paisaje urbano, se utiliza el método de limpieza o restauración por daños ambientales (embellecimiento de edificios). Es decir el costo que tiene el disponer nuevamente con edificios limpios y por tanto de un mejor paisaje urbano. De esta forma se estaría valorando el bienestar que significa para la sociedad disponer de un paisaje urbano más limpio, ese valor sería estimado por los costos que significa adecuar el ambiente para disponer de tal beneficio nuevamente. Para efectos de este estudio la medida será, limpiar

las fachadas de las edificaciones (casas y edificios) mediante el lavado de éstos. Los resultados de la valoración se tienen en la tabla 43.

**Tabla 43. Costo de Limpieza de Edificios por Emisiones Vehiculares Por Tipo de Vehículo.**

<b>Tipo Vehículo</b>	<b>Emisiones promedio PM10 (kg)</b>	<b>Ajuste costos según PM10</b>	<b>Costo Promedio Limpieza por Vehículo (\$)</b>	<b>Costo Limpieza Total (\$)</b>
Auto particular	3,7	1,58%	1,41	21.833,2
Carga liviana	8,1	3,50%	3,13	20.803,1
Carga pesada	26,2	11,31%	10,1	12.793,1
Buses público	87,9	37,89%	33,82	12.150,1
Taxi público	23,9	10,31%	9,2	1.157,2
Motos	0,8	0,36%	0,32	1.684,4

**Fuente: Vega y otros (2004)**

### **6.2.5 Disposición de Baterías**

Para efectos de este estudio se estiman las externalidades negativas de la inadecuada disposición de las baterías de los vehículos vía el Costo de Recolección o Recuperación de dichos desechos y su disposición adecuada (Según Vega y otros, 2004). De esta forma se estaría valorando el bienestar que significa para la sociedad disponer sobre todo de aguas limpias y alimentos no contaminados, ese valor sería estimado por los costos que significa diseñar e implementar un programa nacional de manejo integrado de desechos de baterías para la recuperación o recolección de éstas. Para la estimación se usan los parámetros de la siguiente tabla.

**Tabla 44. Variables para Costos por Mitigar la Contaminación por Baterías.**

**Costo Anual por Vehículo**

Vehículos Combustión Interna				Vehículos Eléctricos				
Tipo Vehículo	Baterías Año	Kg por batería	total kg al año	Costo Recuperación por kg	Baterías al año	Kg por batería	Total kg por año	Costo Recuper. Por kg (\$)
Auto particular	0,4	12	4,8	0,1073	2,6	12	31,2	0,1073
Carga liviana	0,4	12	4,8	0,1073	2,4	12	28,8	0,1073
Carga pesada	0,5	24	12	0,1073	5,2	12	62,4	0,1073
Taxi público	0,4	12	4,8	0,1073	2,6	12	31,2	0,1073
Buses público	0,5	24	12	0,1073	5,2	12	62,4	0,1073
Motos	0,4	6	2,4	0,1073	0,8	12	9,6	0,1073

Fuente: Vega y otros (2004)

Los resultados de la valoración se observan en la tabla 45.

**Tabla 45. Costos anuales por deterioro del ambiente por baterías**

Cifras en \$

Tipo Vehículo	Hidrocarburado	Eléctrico
Auto particular	0,52	3,35
Carga liviana	0,52	3,09
Carga pesada	1,29	6,7
Buses público	1,29	6,7
Taxi público	0,52	3,35
Motos	0,26	1,03

Fuente: Vega y otros (2004)

### 6.2.6 Disposición de Aceites

Al igual que con las batería se valora según Vega y Otros (2004) la forma de disponer de los aceites mediante un sistema de reciclaje con empresas cementeras, que lo usarían como combustible.



**Tabla 46. Variables para Calcular los Costos por Contaminación por Aceites Anual por Vehículo Hidrocarburoado**

**Cifras en \$**

Tipo Vehículo	Cuartos/año	Cuartos aceite quemado	Costo Recuperación/kg
Auto particular	16,69	9	0,0475
Carga liviana	16,69	9.344	0,0475
Carga pesada	288	161,28	0,0475
Taxi público	85,71	48	0,0475
Buses público	864,19	483,95	0,0475
Motos	2,09	1	0,0475

**Fuente: Vega y otros (2004)**

**Tabla 47. Costos por Contaminación por Aceites Lubricantes Anual por Vehículo**

**Cifras en \$**

Tipo Vehículo	Hidrocarburoado	Eléctrico
Auto particular	0,53	0
Carga liviana	0,53	0
Carga pesada	9,19	0
Buses público	27,59	0
Taxi público	2,74	0
Motos	0,07	0

**Fuente: Vega y otros (2004)**

## **7 EVALUACIÓN DE ESCENARIOS DE TRANSPORTE ELECTRICICO**

A continuación se ofrecen los resultados de la evaluación de los cuatro escenarios alternativos al transporte en donde se evalúan aspectos económicos y ambientales para conocer su beneficio neto para la sociedad.

Para la estimación costo beneficio se utiliza una tasa de descuento del 5%, ya que es una tasa de costo de capital apropiado para cifras en dólares.

El escenario IV con una mezcla de Trenes eléctricos, vehículos híbridos-eléctricos (modelo Montes) y medidas de descongestión y de integración del transporte, así como la incorporación de rutas intersectoriales, muestra ser el más rentable.

**Tabla 48. Resultado Costo Beneficio Comparativo.**

**En Millones de \$**

Escenario	Beneficio Económico Neto	Beneficio Económico y Ambiental Neto
Escenario I	-6.539,20	-1.035,94
Escenario II	-3.802,87	2.980,28
Escenario III	-1.127,67	8.309,87
Escenario IV	-1.030,38	8.520,13

**Fuente: Elaboración propia**

## **7.1 ESCENARIO 1. HÍBRIDOS, TRENES ELÉCTRICOS Y AUTOS ELÉCTRICOS.**

En este escenario 1 se muestra que la rentabilidad económica es negativa, explicado especialmente porque los precios incrementales de los automóviles sobrepasa los ahorros en mantenimiento y combustibles. Pese a que los efectos en reducción de externalidades negativas implican un resultado positivo en rentabilidad social, no es suficiente para compensar el costo económico negativo.

En este escenario se sustituye un 30% del parque vehicular por autos híbridos, los cuales luego se sustituyen por eléctricos. Por otro lado, un 15% del parque se transforma en vehículos eléctricos. Posteriormente, se impulsan trenes eléctricos y las medidas asociadas de integración del transporte público y descongestionamiento.

**Tabla 49. Resultado Costo Beneficio Escenario I.**

**En Millones de \$**

Beneficio Económico Neto	Beneficio Económico y Ambiental Neto
-6.539,20	-1.035,94

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 50. Resultado Análisis Económico en Detalle Escenario I.**

**En Millones de \$**

Año	Costo inversión \$	Ahorro gasolina \$	Ahorro Diesel \$	Ahorro LPG \$	Gasto electricidad \$	Ahorro en baterías	Ahorro en cambios de aceite	Beneficio Económico Neto
2010	-3.952	290	128	0	-49	-66	68	-3.580
2011	-242	295	128	0	-51	-70	70	130
2012	-262	311	131	0	-53	-74	73	126
2013	-281	317	130	0	-55	-79	75	107
2014	-303	324	130	0	-58	-84	78	87
2015	-326	331	130	0	-61	-90	81	65
2016	-353	341	131	0	-65	-96	85	43
2017	-383	352	132	0	-69	-103	88	18
2018	-415	365	133	0	-74	-111	92	-10
2019	-451	378	135	0	-80	-119	96	-41
2020	-492	442	150	0	-86	-129	101	-12
2021	-536	465	154	0	-93	-139	106	-44
2022	-586	490	158	0	-102	-150	111	-80
2023	-641	517	162	0	-112	-163	116	-121
2024	-703	547	166	0	-124	-177	122	-169
2025	-773	579	171	0	-137	-192	128	-223
2026	-844	619	178	0	-153	-209	135	-274
2027	-895	660	184	0	-171	-227	142	-306
2028	-812	690	190	0	-189	-241	149	-212
2029	-620	701	194	0	-204	-248	153	-23
2030	-508	701	197	0	-217	-252	157	79
2031	-472	699	200	0	-230	-254	161	105
2032	-479	697	204	0	-245	-256	165	87
2033	-489	696	207	0	-259	-258	169	65
2034	-505	695	210	0	-275	-260	173	38
2035	-530	695	214	0	-291	-263	177	1
2036	-570	697	217	0	-309	-267	181	-50
2037	-634	702	222	0	-329	-273	186	-126
2038	-734	712	226	0	-352	-281	191	-238
2039	-884	729	231	0	-379	-296	197	-402
2040	-1.089	755	237	0	-413	-321	203	-627
2041	-1.337	791	245	0	-457	-363	211	-909
2042	-1.582	837	253	0	-516	-426	220	-1.215
2043	-1.759	886	261	0	-592	-511	229	-1.484
2044	-1.824	933	270	0	-679	-606	237	-1.668
2045	-1.789	970	278	1	-770	-697	246	-1.761
2046	-1.703	998	285	1	-859	-771	253	-1.797
2047	-1.613	1.015	291	1	-941	-827	260	-1.815
2048	-1.543	1.025	296	1	-1.018	-865	266	-1.838
2049	-1.498	1.030	302	1	-1.091	-891	272	-1.875
2050	-1.474	1.031	307	1	-1.162	-908	278	-1.928

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 51. Resultado Análisis Económico-Ambiental Escenario I.**  
**En Millones de \$**

Año	Costo por salud evitado	Costo por CO2 evitado	Costo por contaminación sónica evitada	Costo por limpieza de edificios evitada	Costo por deterioro ambiente por baterías evitado	Costo por deterioro ambiente por aceites evitado	Beneficio Económico y Ambiental Neto
2010	236	7	1	1	0	0	-3.335
2011	236	7	1	1	0	0	376
2012	237	7	1	1	0	0	372
2013	238	7	1	1	0	0	354
2014	239	7	1	1	0	0	336
2015	241	7	1	1	0	0	315
2016	244	7	1	1	0	0	297
2017	248	8	1	1	0	0	276
2018	253	8	1	1	0	1	253
2019	258	8	1	1	0	1	227
2020	263	8	1	1	-1	1	261
2021	272	8	2	1	-1	1	239
2022	282	9	2	1	-1	1	214
2023	292	9	2	1	-1	1	183
2024	304	9	2	1	-1	1	148
2025	317	10	2	2	-1	1	107
2026	333	10	2	2	-1	1	73
2027	349	11	2	2	-1	1	58
2028	361	11	2	2	-1	1	165
2029	366	11	2	2	-1	1	358
2030	366	11	3	2	-1	1	461
2031	366	11	3	2	-1	1	487
2032	366	11	3	2	-1	1	469
2033	366	11	3	2	-1	1	448
2034	366	11	3	2	-1	1	421
2035	367	11	3	2	-1	1	384
2036	369	11	3	2	-1	1	335
2037	371	12	3	2	-1	1	262
2038	376	12	3	2	-1	1	155
2039	383	12	3	2	-1	1	-2
2040	393	12	3	3	-1	1	-217
2041	407	13	3	3	-2	1	-484
2042	424	13	3	3	-2	1	-772
2043	442	14	4	3	-2	2	-1.022
2044	460	14	4	3	-3	2	-1.188
2045	474	15	4	3	-3	2	-1.267
2046	484	15	4	4	-3	2	-1.292
2047	491	15	4	4	-4	2	-1.302
2048	495	15	4	4	-4	2	-1.321
2049	497	16	4	4	-4	2	-1.356
2050	499	16	4	4	-4	2	-1.407

Fuente: Elaboración propia

## 7.2 ESCENARIO 2. SUSTITUCIÓN TOTAL DE FLOTA DE COMBUSTIÓN

El escenario 2 se sigue presentando un costo económico negativo pero de menor magnitud, por lo que al considerar los efectos sociales y ambientales que son beneficios positivos, resulta un neto entre los económico, lo social y lo ambiental igualmente positivo. En este escenario el parque vehicular se sustituye primero por vehículos híbridos y luego por eléctricos.

**Tabla 52. Resultado Costo Beneficio Escenario II.**  
**En Millones de \$**

<b>Beneficio Económico Neto</b>	<b>Beneficio Económico y Ambiental Neto</b>
-3.802,87	2.980,28

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 53. Resultado Análisis Económico en Detalle Escenario II.**  
**En Millones de \$**

Año	Costo inversión \$	Ahorro gasolina \$	Ahorro Diesel \$	Ahorro LPG \$	Gasto electricidad \$	Ahorro neto en baterías	Ahorro en cambios de aceite	Beneficio Económico Neto
2010	-26	3	0	0	0	0	0	-23
2011	-21	5	1	0	0	0	0	-15
2012	-37	8	1	0	0	0	1	-27
2013	-67	14	3	0	0	0	1	-49
2014	-120	24	4	0	0	0	2	-89
2015	-211	41	7	0	0	0	3	-160
2016	-366	70	12	0	0	0	5	-279
2017	-615	116	20	0	0	0	8	-470
2018	-985	188	31	0	0	0	14	-752
2019	-1.471	290	48	0	-0	-0	22	-1.112
2020	-2.001	475	76	0	-0	-0	33	-1.416
2021	-2.438	654	103	0	-0	-0	47	-1.634
2022	-2.662	840	130	0	-0	-0	61	-1.631
2023	-2.662	1.016	155	0	-0	-0	75	-1.416
2024	-2.532	1.173	176	0	-0	-0	89	-1.094
2025	-2.386	1.312	193	0	-0	-0	101	-780
2026	-2.275	1.447	210	0	-0	-0	112	-506
2027	-2.158	1.570	224	0	-0	-0	123	-241
2028	-1.700	1.659	235	0	-0	-1	132	325
2029	-976	1.700	241	0	-1	-2	137	1.100
2030	-511	1.710	245	0	-1	-3	139	1.579
2031	-353	1.715	248	0	-2	-5	141	1.746
2032	-325	1.719	251	0	-3	-8	143	1.778
2033	-314	1.722	254	0	-6	-13	145	1.789
2034	-319	1.725	258	0	-10	-23	147	1.778
2035	-342	1.730	261	0	-18	-40	149	1.742
2036	-389	1.741	266	0	-32	-67	151	1.670
2037	-473	1.758	271	1	-56	-114	154	1.541
2038	-611	1.786	278	1	-97	-190	158	1.324
2039	-820	1.828	288	1	-166	-310	163	983
2040	-1.107	1.892	301	1	-274	-491	171	491
2041	-1.444	1.980	319	1	-434	-742	180	-140
2042	-1.748	2.090	340	1	-646	-1.057	192	-829
2043	-1.905	2.210	363	1	-899	-1.405	205	-1.429
2044	-1.844	2.323	386	1	-1.164	-1.740	217	-1.820
2045	-1.600	2.417	406	1	-1.418	-2.024	228	-1.989
2046	-1.280	2.489	423	1	-1.644	-2.242	237	-2.017
2047	-982	2.539	436	1	-1.842	-2.398	244	-2.003
2048	-750	2.571	447	1	-2.016	-2.507	249	-2.005
2049	-590	2.593	456	1	-2.175	-2.581	254	-2.044
2050	-488	2.606	463	1	-2.325	-2.634	257	-2.120

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 54. Resultado Análisis Económico- Ambiental Escenario II.**  
**En Millones de \$**

Año	Costo por salud evitado	Costo por CO2 evitado	Costo por contaminación sónica evitada	Costo por limpieza de edificios evitada	Costo por deterioro ambiente por baterías	Costo por deterioro ambiente por aceites	Beneficio Económico y Ambiental Neto
2010	2	0	0	0	0	0	-21
2011	3	0	0	0	0	0	-12
2012	5	0	0	0	0	0	-22
2013	8	0	0	0	0	0	-41
2014	13	0	0	0	0	0	-76
2015	22	1	0	0	0	0	-137
2016	37	1	0	0	0	0	-240
2017	61	2	0	0	0	0	-406
2018	98	3	0	0	0	0	-650
2019	150	5	1	1	-0	0	-955
2020	216	7	1	1	-0	0	-1.191
2021	295	9	1	1	-0	0	-1.327
2022	375	12	2	2	-0	1	-1.239
2023	450	14	2	2	-0	1	-946
2024	515	17	3	3	-0	1	-557
2025	570	18	3	3	-0	1	-185
2026	623	20	3	3	-0	1	145
2027	670	22	4	4	-0	1	459
2028	703	23	4	4	-0	1	1.060
2029	717	23	4	4	-0	1	1.850
2030	720	23	4	4	-0	1	2.332
2031	720	23	4	4	-0	1	2.500
2032	720	23	4	4	-0	1	2.531
2033	719	23	4	4	-0	1	2.541
2034	719	23	5	4	-0	1	2.530
2035	720	23	5	4	-0	1	2.495
2036	722	23	5	5	-0	1	2.426
2037	728	23	5	5	-0	2	2.303
2038	738	24	5	5	-1	2	2.096
2039	754	24	5	5	-1	2	1.771
2040	778	25	5	5	-2	2	1.304
2041	813	26	5	6	-3	2	708
2042	856	27	6	6	-4	2	64
2043	903	29	6	6	-6	2	-488
2044	948	30	7	7	-7	2	-834
2045	984	31	7	7	-9	2	-965
2046	1.011	32	7	7	-10	2	-966
2047	1.030	33	7	8	-10	2	-933
2048	1.041	33	8	8	-11	2	-923
2049	1.048	33	8	8	-11	3	-955
2050	1.051	33	8	8	-11	3	-1.028

Fuente: Elaboración propia

### 7.3 ESCENARIO 3. TRENES ELÉCTRICOS Y SUSTITUCIÓN TOTAL DE FLOTA DE COMBUSTIÓN

En el escenario 3, se logra que los beneficios sociales y ambientales conviertan los costos económicos netos negativos en un resultado económico, social y ambiental neto positivo. El parque vehicular se sustituye primero por vehículos híbridos y luego por eléctricos, pero después que se hayan implementado las medidas de trenes eléctricos y las medidas asociadas de integración del transporte público y descongestionamiento.

**Tabla 55. Resultado Costo Beneficio Escenario III.**  
**En Millones de \$**

<b>Beneficio Económico Neto</b>	<b>Beneficio Económico y Ambiental Neto</b>
-1.128	8.310

**Fuente: Elaboración propia**



**Tabla 56. Resultado Costo Beneficio Detallado Escenario III.**  
**En Millones de \$**

Año	Costo inversión \$	Ahorro gasolina \$	Ahorro Diesel \$	Ahorro LPG \$	Gasto electricidad \$	Ahorro neto en baterías	Ahorro en cambios de aceite	Beneficio Económico Neto
2010	-1.871	78	109	0	-34	4	56	-1.658
2011	-21	81	109	0	-35	4	58	196
2012	-37	88	112	0	-36	4	60	191
2013	-67	96	112	0	-38	5	63	170
2014	-120	107	113	0	-40	5	66	132
2015	-211	126	115	0	-41	5	69	63
2016	-366	157	120	0	-44	6	73	-53
2017	-615	206	129	0	-46	6	79	-241
2018	-985	281	141	0	-49	6	88	-519
2019	-1.471	386	158	0	-52	7	99	-875
2020	-2.001	587	198	0	-56	7	113	-1.151
2021	-2.438	771	227	0	-60	8	129	-1.363
2022	-2.662	964	256	0	-65	8	147	-1.352
2023	-2.662	1.146	283	0	-71	9	165	-1.130
2024	-2.532	1.311	307	0	-78	9	182	-800
2025	-2.386	1.457	327	0	-85	10	198	-478
2026	-2.275	1.602	348	0	-94	10	214	-195
2027	-2.158	1.735	366	0	-105	11	229	79
2028	-1.700	1.831	381	0	-115	11	242	651
2029	-976	1.874	391	0	-124	11	250	1.427
2030	-511	1.884	397	0	-133	10	257	1.904
2031	-353	1.890	404	0	-143	8	262	2.069
2032	-325	1.893	410	0	-154	5	267	2.097
2033	-314	1.895	416	0	-166	-0	273	2.104
2034	-319	1.898	423	1	-181	-10	278	2.089
2035	-342	1.902	429	1	-200	-26	284	2.049
2036	-389	1.913	437	1	-226	-54	290	1.972
2037	-473	1.930	446	1	-263	-100	297	1.837
2038	-611	1.957	457	1	-318	-176	305	1.614
2039	-820	1.999	470	1	-401	-296	314	1.266
2040	-1.107	2.062	487	1	-525	-476	325	766
2041	-1.444	2.150	508	1	-701	-727	339	126
2042	-1.748	2.259	533	1	-931	-1.042	355	-573
2043	-1.905	2.378	561	1	-1.202	-1.389	372	-1.184
2044	-1.844	2.491	587	1	-1.488	-1.724	389	-1.587
2045	-1.600	2.585	612	1	-1.762	-2.009	404	-1.769
2046	-1.280	2.656	632	1	-2.012	-2.227	418	-1.811
2047	-982	2.705	650	1	-2.234	-2.383	429	-1.813
2048	-750	2.738	665	1	-2.434	-2.490	439	-1.832
2049	-590	2.758	678	1	-2.620	-2.565	448	-1.890
2050	-488	2.772	690	1	-2.800	-2.618	457	-1.986

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 57. Resultado Análisis Económico-Ambiental Escenario III.**  
**En Millones de \$**

Año	Costo por salud evitado	Costo por CO2 evitado	Costo por contaminación sónica evitada	Costo por limpieza de edificios evitada	Costo por deterioro ambiente por baterías evitado	Costo por deterioro ambiente por aceites evitado	Beneficio Económico y Ambiental Neto
2010	132	4	0	0	0	0	-1.521
2011	132	4	1	0	0	0	333
2012	133	4	1	0	0	0	329
2013	136	4	1	0	0	0	311
2014	140	4	1	0	0	0	278
2015	149	4	1	0	0	0	218
2016	164	5	1	1	0	0	118
2017	189	6	1	1	0	0	-44
2018	227	7	1	1	0	0	-283
2019	280	8	1	1	0	1	-584
2020	347	11	2	1	0	1	-790
2021	429	13	2	2	0	1	-916
2022	512	16	3	2	0	1	-818
2023	590	18	3	3	0	1	-514
2024	659	21	4	3	0	1	-113
2025	718	23	4	4	0	1	271
2026	777	24	4	4	0	2	617
2027	829	26	5	4	0	2	945
2028	866	27	5	5	0	2	1.556
2029	883	28	5	5	0	2	2.350
2030	886	28	5	5	0	2	2.831
2031	888	28	6	5	0	2	2.997
2032	889	28	6	5	0	2	3.027
2033	890	28	6	5	0	2	3.035
2034	891	28	6	5	0	2	3.022
2035	893	28	6	5	0	2	2.983
2036	897	28	6	6	-0	2	2.911
2037	904	28	6	6	-0	2	2.784
2038	915	29	6	6	-1	2	2.571
2039	933	29	6	6	-1	2	2.241
2040	958	30	7	6	-2	2	1.768
2041	995	31	7	7	-3	3	1.165
2042	1.040	33	7	7	-4	3	513
2043	1.088	34	8	8	-6	3	-49
2044	1.134	36	8	8	-7	3	-405
2045	1.173	37	9	8	-8	3	-548
2046	1.201	38	9	9	-9	3	-561
2047	1.221	38	9	9	-10	3	-542
2048	1.235	39	9	9	-10	3	-547
2049	1.243	39	9	10	-11	4	-596
2050	1.249	39	10	10	-11	4	-687

**Fuente: Elaboración propia**

## 7.4 ESCENARIO 4. INTRODUCCIÓN DE RUTAS INTERSECTORIALES

Este escenario nuevamente es rentable cuando se añade la parte social y ambiental.

**Tabla 58. Resultado Costo Beneficio Escenario IV.**

**En Millones de \$**

<b>Beneficio Económico Neto</b>	<b>Beneficio Económico y Ambiental Neto</b>
-1.030	8.520

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 59. Resultado Costo Beneficio Detallado Escenario IV.**

**En Millones de \$**

Año	Costo inversión \$	Ahorro gasolina \$	Ahorro Diesel \$	Ahorro LPG \$	Gasto electricidad \$	Ahorro neto en baterías	Ahorro en cambios de aceite	Beneficio Económico Neto
2010	-1.876	78	113	0	-35	3	58	-1.659
2011	-21	81	113	0	-35	3	60	200
2012	-38	88	116	0	-37	3	62	196
2013	-67	96	116	0	-38	3	65	175
2014	-120	107	117	0	-40	4	68	137
2015	-211	126	120	0	-42	4	71	68
2016	-366	157	125	0	-44	4	76	-48
2017	-615	206	133	0	-46	4	82	-236
2018	-986	281	145	0	-49	5	90	-514
2019	-1.472	386	162	0	-52	5	102	-870
2020	-2.001	587	203	0	-56	5	116	-1.145
2021	-2.438	771	232	0	-61	6	132	-1.357
2022	-2.662	964	262	0	-66	6	150	-1.346
2023	-2.663	1.146	289	0	-72	7	168	-1.123
2024	-2.533	1.311	313	0	-78	7	185	-794
2025	-2.387	1.457	333	0	-86	8	202	-472
2026	-2.276	1.602	354	0	-95	8	218	-188
2027	-2.159	1.735	372	0	-105	9	233	86
2028	-1.700	1.831	387	0	-115	9	246	658
2029	-976	1.874	397	0	-125	9	254	1.434
2030	-512	1.884	403	0	-134	8	261	1.911
2031	-353	1.890	410	0	-144	6	266	2.076
2032	-325	1.893	416	0	-155	3	272	2.104
2033	-314	1.895	423	0	-167	-3	277	2.111
2034	-319	1.898	429	1	-182	-12	283	2.096
2035	-342	1.902	436	1	-201	-29	288	2.056
2036	-389	1.913	444	1	-227	-56	295	1.980
2037	-473	1.930	453	1	-264	-103	302	1.845
2038	-611	1.957	464	1	-319	-179	309	1.621
2039	-821	1.999	477	1	-402	-299	319	1.273
2040	-1.108	2.062	494	1	-526	-480	330	773
2041	-1.444	2.150	515	1	-702	-731	344	133
2042	-1.748	2.259	541	1	-932	-1.045	360	-565
2043	-1.905	2.378	568	1	-1.203	-1.393	377	-1.177
2044	-1.844	2.491	595	1	-1.489	-1.728	394	-1.580
2045	-1.600	2.585	619	1	-1.764	-2.012	410	-1.761
2046	-1.281	2.656	640	1	-2.013	-2.230	423	-1.804
2047	-982	2.705	657	1	-2.235	-2.386	435	-1.806
2048	-751	2.738	672	1	-2.436	-2.494	445	-1.825
2049	-591	2.758	685	1	-2.622	-2.569	454	-1.883
2050	-489	2.772	697	1	-2.802	-2.622	463	-1.979

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 60. Resultado Económico- Ambiental en Detalle Escenario IV.**

**En Millones \$**

Año	Costo por salud evitado	Costo por CO2 evitado	Costo por contaminación sónica evitada	Costo por limpieza de edificios evitada	Costo por deterioro ambiente por baterías evitado	Costo por deterioro ambiente por aceites evitado	Beneficio Económico y Ambiental Neto
2010	138	4	0	0	0	0	-1.516
2011	138	4	1	0	0	0	343
2012	139	4	1	0	0	0	340
2013	141	4	1	0	0	0	321
2014	146	4	1	0	0	0	288
2015	155	4	1	1	0	0	229
2016	170	5	1	1	0	0	129
2017	195	6	1	1	0	0	-33
2018	233	7	1	1	0	0	-272
2019	286	9	1	1	0	1	-572
2020	353	11	2	2	0	1	-777
2021	435	13	2	2	0	1	-903
2022	518	16	3	2	0	1	-805
2023	596	19	3	3	0	1	-501
2024	665	21	4	3	0	1	-100
2025	724	23	4	4	0	1	284
2026	783	25	4	4	0	2	630
2027	836	26	5	4	0	2	959
2028	873	27	5	5	0	2	1.570
2029	889	28	5	5	0	2	2.364
2030	893	28	5	5	0	2	2.844
2031	895	28	6	5	0	2	3.011
2032	896	28	6	5	0	2	3.041
2033	897	28	6	5	0	2	3.050
2034	898	28	6	5	0	2	3.036
2035	900	28	6	6	0	2	2.997
2036	904	28	6	6	-0	2	2.926
2037	911	28	6	6	-0	2	2.798
2038	922	29	6	6	-1	2	2.586
2039	940	29	6	6	-1	2	2.256
2040	966	30	7	6	-2	3	1.783
2041	1.002	31	7	7	-3	3	1.180
2042	1.047	33	7	7	-4	3	527
2043	1.096	34	8	8	-6	3	-34
2044	1.142	36	8	8	-7	3	-390
2045	1.180	37	9	9	-8	3	-533
2046	1.209	38	9	9	-9	3	-546
2047	1.229	38	9	9	-10	3	-527
2048	1.242	39	9	9	-10	4	-532
2049	1.250	39	9	10	-11	4	-581
2050	1.256	39	10	10	-11	4	-672

**Fuente: Elaboración propia**

## 8 SENSIBILIZACIÓN DEL COSTO DE CAPITAL Y PRECIO DE COMBUSTIBLES

A continuación se presenta la sensibilidad de los resultados ante cambios en el costo de capital, que se usa como tasa de descuento y los precios de los combustibles, como electricidad, gasolina y diesel.

### 8.1 COSTO DE CAPITAL

El análisis de sensibilidad de costo de capital indica que aún duplicándose el costo de capital al 10%. En el escenario II se revierte el beneficio económico, social y ambiental que era hasta ahora positivo. Los escenarios III y IV siguen siendo costo-beneficio positivo cuando se consideran los beneficios sociales y ambientales.

**Tabla 61. Resultado Costo-Beneficio I**  
**Costo de capital al 5%.**  
**En Millones \$**

Escenario	Beneficio Económico Neto	Beneficio Económico y Ambiental Neto
Escenario I	-6.539,20	-1.035,94
Escenario II	-3.802,87	2.980,28
Escenario III	-1.127,67	8.309,87
Escenario IV	-1.030,38	8.520,13

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 62. Resultado Costo-Beneficio II**  
**Costo de capital al 10%.**  
**En Millones \$**

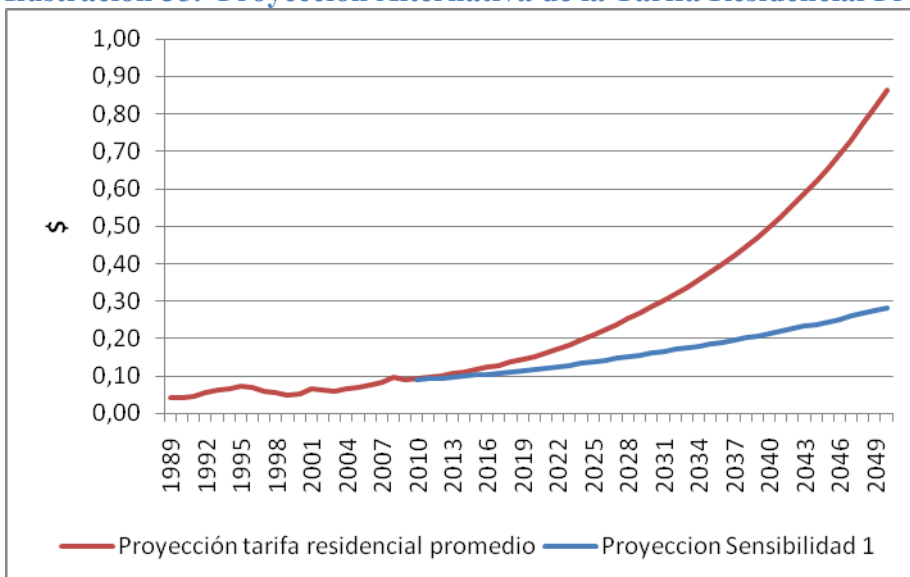
Escenario	Beneficio Económico Neto	Beneficio Económico y Ambiental Neto
Escenario I	-3.723,96	-905,99
Escenario II	-2.522,06	-126,80
Escenario III	-1.783,94	2.025,15
Escenario IV	-1.735,06	2.135,57

Fuente: Elaboración propia

## 8.2 TARIFAS ELÉCTRICAS

Debido a que la tarifa residencial promedio proyectada tiene un comportamiento casi exponencial, la sensibilidad del precio de la electricidad se hace suponiendo que la tasa de crecimiento es la mitad proyectada en el modelo econométrico. En la ilustración 35 se muestra que el crecimiento es el análisis de sensibilidad es más bajo.

**Ilustración 35. Proyección Alternativa de la Tarifa Residencial Promedio**



**Fuente: Elaboración propia**

Con esta modificación en la tasa de crecimiento de los precios de la electricidad aplicada a la tarifa nocturna, indica que todos los escenarios se volverían positivos una vez se contemplen los beneficios sociales y ambientales. El costo de capital es al 5%.

**Tabla 63. Resultado Costo-Beneficio III**

**Precios Electricidad a la Mitad.**

**En Millones \$**

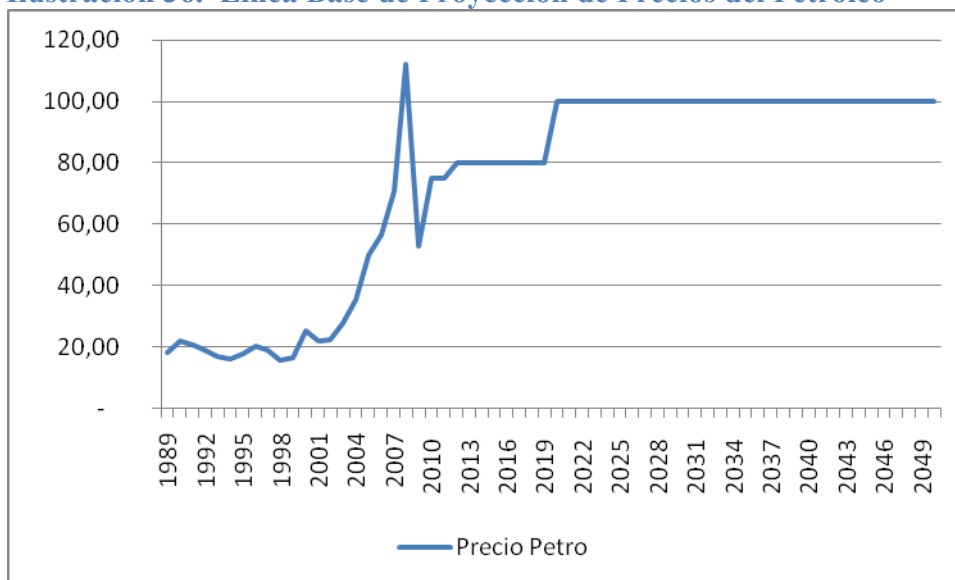
Escenario	Beneficio Económico Neto	Beneficio Económico y Ambiental Neto
Escenario I	-5.024,67	478,59
Escenario II	-2.254,03	4.529,12
Escenario III	1.223,89	10.661,42
Escenario IV	1.324,98	10.875,50

**Fuente: Elaboración propia**

### 8.3 PRECIOS DEL PETRÓLEO

En la sensibilización de los precios del petróleo, lo cual va a afectar los precios de la gasolina y el diesel, se supone inicialmente que los precios se mantienen en \$80 el barril hasta el 2050, lo que resulta en que los escenarios III y IV. Un segundo escenario establece un precio de \$80 barril hasta el 2012, \$100 hasta el 2020 y \$120 hasta el 2050. En este caso, todos los escenarios resultan positivos después de los beneficios sociales y ambientales.

**Ilustración 36. Línea Base de Proyección de Precios del Petróleo**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 64. Resultado Costo-Beneficio IV**  
**Precios Barril petróleo a \$80 hasta el 2050**  
**En Millones \$**

Escenario	Beneficio Económico Neto	Beneficio Económico y Ambiental Neto
Escenario I	-7.425,42	-1.922,17
Escenario II	-5.695,17	1.087,99
Escenario III	-3.319,18	6.118,35
Escenario IV	-3.227,35	6.323,17

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 65. Resultado Costo-Beneficio V**  
**Precio Barril petróleo a \$80 hasta el 2012**  
**\$100 hasta el 2020 y \$120 hasta 2050**  
**En Millones \$**

Escenario	Beneficio Económico Neto	Beneficio Económico y Ambiental Neto
Escenario I	-5.353,02	150,23
Escenario II	-2.010,34	4.772,82
Escenario III	1.086,66	10.524,19
Escenario IV	1.192,01	10.742,52

**Fuente: Elaboración propia**

## 9 ESCENARIO RECOMENDADO

El escenario recomendado después de análisis costo beneficio tanto económico como social y ambiental es el escenario IV, que arroja un beneficio neto de \$8.520 millones, superando los resultados de los otros escenarios.

**Tabla 66. Resultado Costo-Beneficio Escenario Recomendado.**  
**En Millones \$**

Escenario	Beneficio Económico Neto	Beneficio Económico y Ambiental Neto
Escenario IV	-1.030,38	8.520,13

**Fuente: Elaboración propia**

Sobre este escenario recomendado se analizarán algunas implicaciones de inversión para actores del sistema de transporte basado en electricidad.

## 10 NECESIDADES DE INVERSION PARA EL ICE ANTE DEMANDA POR FLOTA ELECTRICA

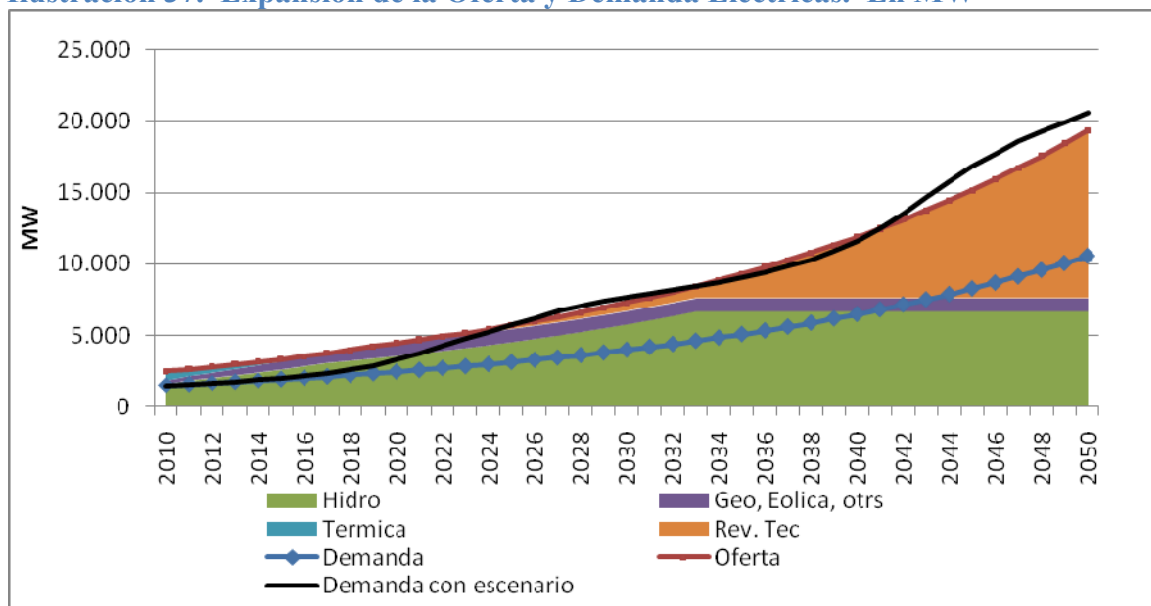
### 10.1 DEMANDA DE POTENCIA

El primer requerimiento de inversión analizado es la potencia requerida ante el escenario recomendado. Para ello se analizaron las dos fuentes de demanda de electricidad del escenario el sistema de tren y los autos que utilizan electricidad.

Los parámetros utilizados son los sugeridos por Montes (2009) que basado en la flota eléctrica de la compañía eléctrica encuentra que un auto eléctrico requiere de 2,7 kW y los híbridos enchufables de 1,5 kW. Los trenes eléctricos por su parte implican una demanda de potencia de 7,000 kW.

La ilustración 37 muestra que el escenario 4 implicaría una expansión de la demanda medida en potencia (MW) que superaría la oferta prevista en los estudio de la Dirección Sectorial de Energía (DSE).

**Ilustración 37. Expansión de la Oferta y Demanda Eléctricas. En MW**



**Fuente: Elaboración propia con datos de la DSE**

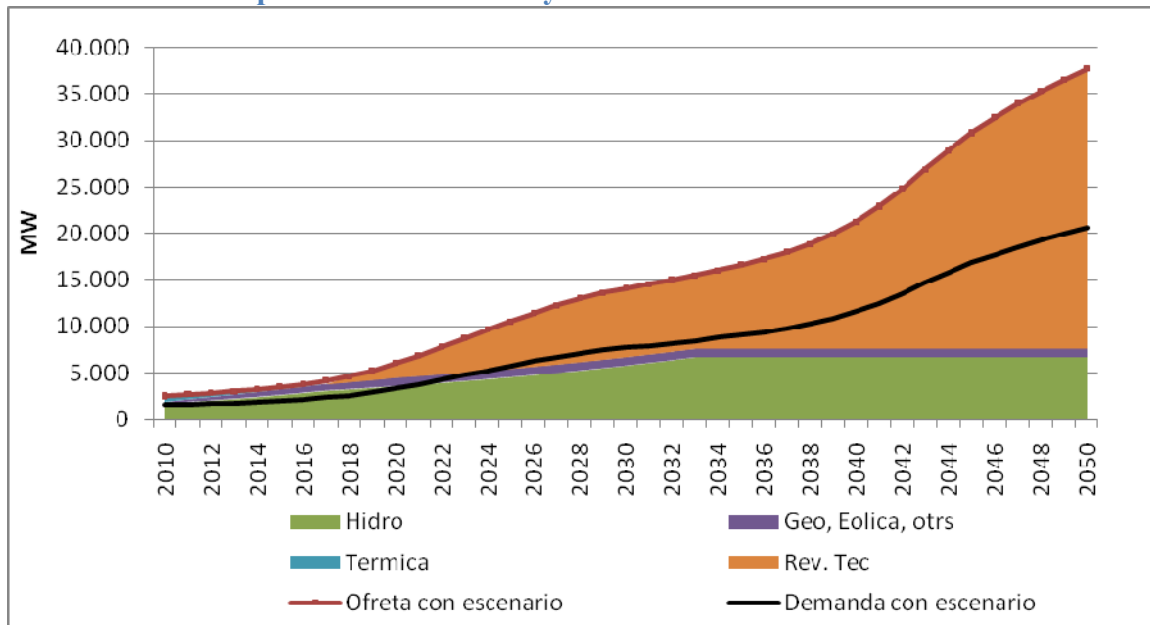
De acuerdo con la DSE, la oferta iría a promediar un exceso de 83% sobre la demanda hasta el 2050. Por su parte, el plan de expansión del ICE hasta el 2021 implica una instalación de 2,403 MW, con una inversión de \$2.788 millones, lo que indica que por cada megavatio instalado la inversión que se prevé es de \$1,2 millones.

Partiendo de ese excedente instalado de la DSE, la expansión de la oferta se puede apreciar en la ilustración 38, implicaría 18.344 MW adicionales hasta el 2050, que si tuviese un costo por Kw como el encontrado anteriormente en la plan de expansión del ICE, el costo de la inversión adicional ascendería a \$21.283 millones. Obviamente esta cifra es sólo una idea de magnitud, ya que la optimización de una expansión eléctrica se

hace en un proceso iterativo observando diversos proyectos con diferentes costos de inversión y momentos de entrada. Sin embargo, esta aproximación indica que los requerimientos de expansión en la oferta de energía son significativos con el escenario analizado.

Por otro lado, se puede apreciar cómo se incrementa la necesidad de producción eléctrica de la llamada revolución tecnológica que el país deberá atravesar ante el agotamiento de las fuentes que tradicionalmente alimentado el sistema y que han sido esencialmente renovables. De acuerdo a De la Torre (2010) en el plan de estrategia de desarrollo energético denominado “Hacia un nuevo modelo energético para nuestro país”, Costa Rica tiene una generación eléctrica con 78% proveniente de hidroelectricidad, 13% de geotermia, 4% eólica y menos de 1% de biomasa, con lo que sólo un poco menos del 5% proviene de fuentes no renovables.

**Ilustración 38. Expansión de la Oferta y Demanda ante Escenario. En MW**



**Fuente: Elaboración propia con datos del la DSE**

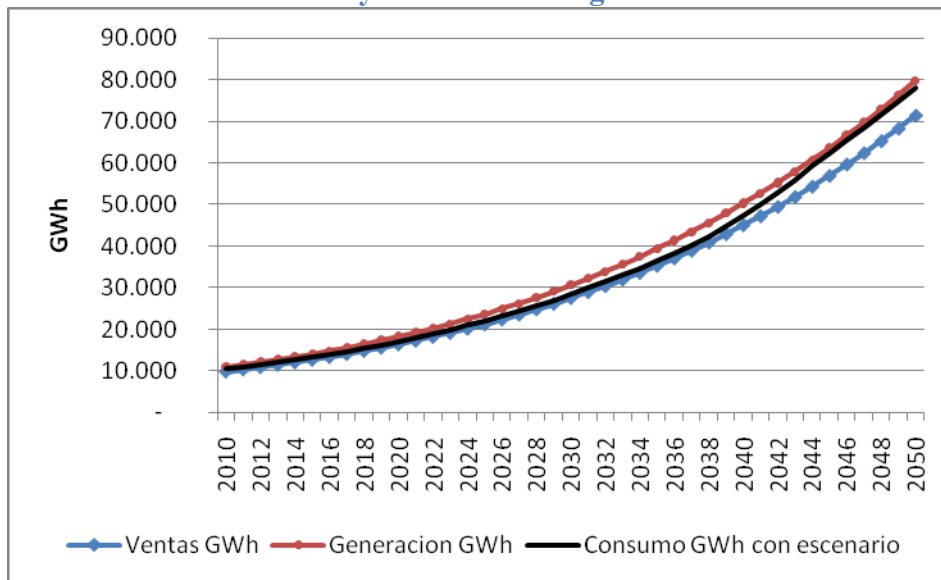
Así el país ha seguido la ejecución de proyectos bajo el criterio del desarrollo sostenible, incluyendo aspectos sociales y ambientales, manteniendo asimismo precios competitivos de la electricidad. Sin embargo, las proyecciones de la DSE el potencial de desarrollo de energía hidroeléctrica se alcanza en el año 2033, por lo que debe desarrollarse una

revolución tecnológica a partir de este periodo, que De la Torre (2010) ubica en desarrollar los recursos geotérmicos, hoy protegidos por los sistemas de parques nacionales, así como la energía eólica. En el caso de la biomasa deben aprovecharse productos agrícolas para maximizar su participación en la matriz energética. Otra área por desarrollar es la energía solar.

## 10.2 DEMANDA DE ENERGÍA

Por su parte, la ilustración 39 muestra que la expansión de la oferta de energía también se vería limitada con la nueva demanda de energía.

**Ilustración 39. Demanda y Oferta de Energía**

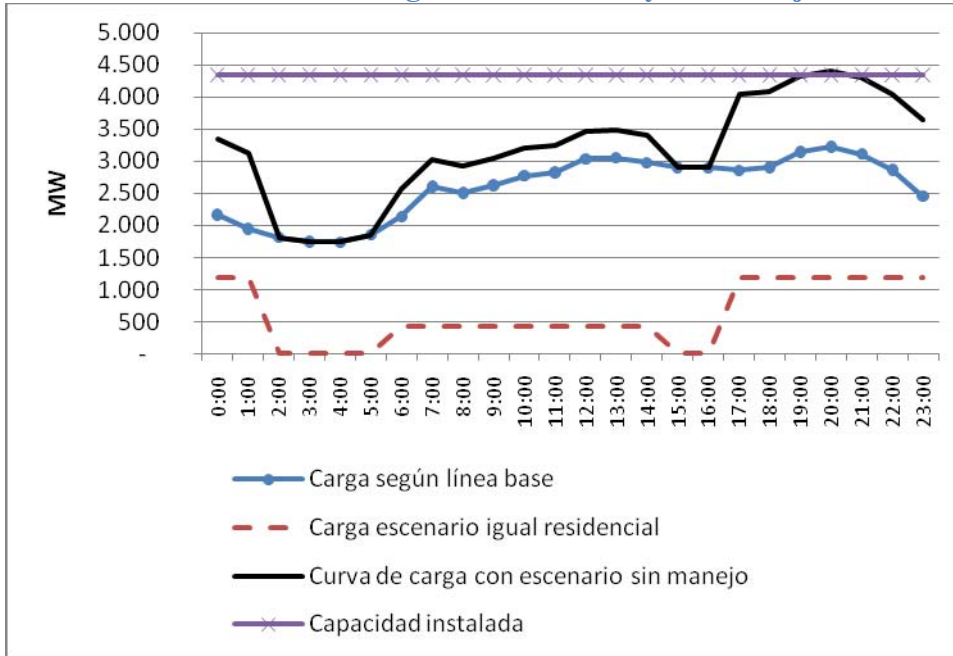


**Fuente:** Elaboración propia con datos del la DSE

## 10.3 CURVA DE CARGA

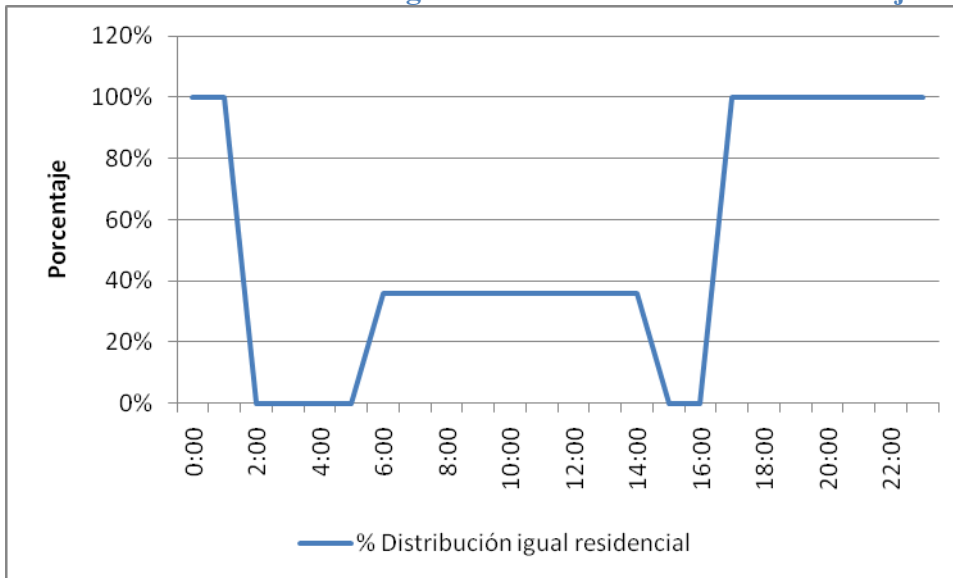
Respecto al comportamiento de la curva de carga, se realiza el análisis a partir de la proyección de curva de carga que ofrece Montes (2009), con los requerimientos del escenario recomendado. La ilustración 40 expone el caso en donde no hay manejo de la demanda mediante política tarifaria, por lo que la carga de los automóviles coincide con horas pico de demanda. El resultado es que la oferta se ve superada en la hora de la noche.

**Ilustración 40. Curva de Carga con Escenario y sin Manejo de Demanda al 2021**



**Fuente: Elaboración propia con datos de Montes (2009)**

**Ilustración 41. Curva de Carga de Vehículos Eléctricos sin Manejo de Demanda**

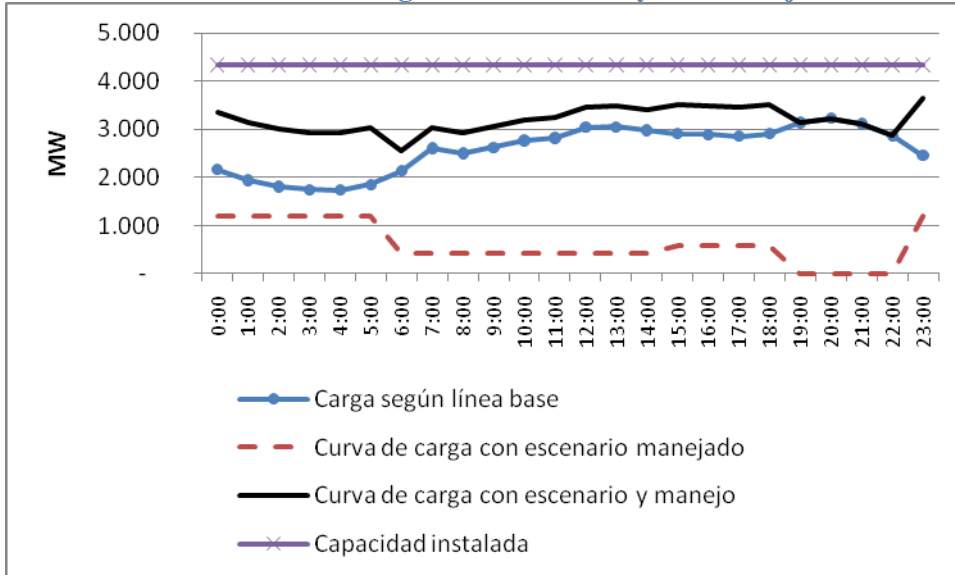


**Fuente: Elaboración propia con base en Montes (2009)**

Por su parte, el caso con manejo de demanda con política de estímulo para carga del carro en horario nocturno y en hora valle, implica que la oferta de carga prevista puede responder a los requerimientos de la flota eléctrica (ver ilustración 42).

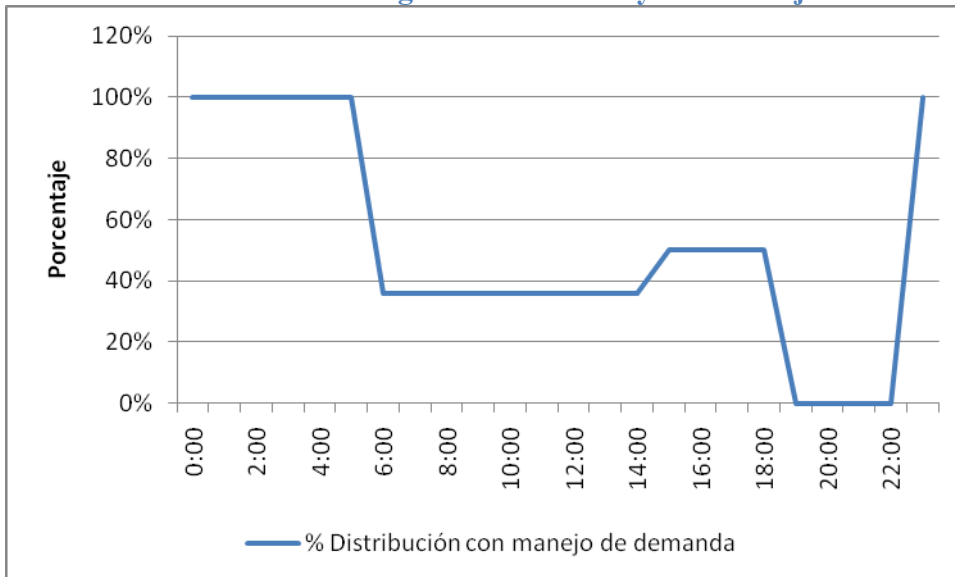
Este resultado remarca la importancia de la política de manejo de demanda vía tarifaria para promover la carga de vehículos en horas nocturnas y en valles.

**Ilustración 42. Curva de Carga con Escenario y sin Manejo de Demanda al 2021**



Elaboración propia con datos de Montes (2009)

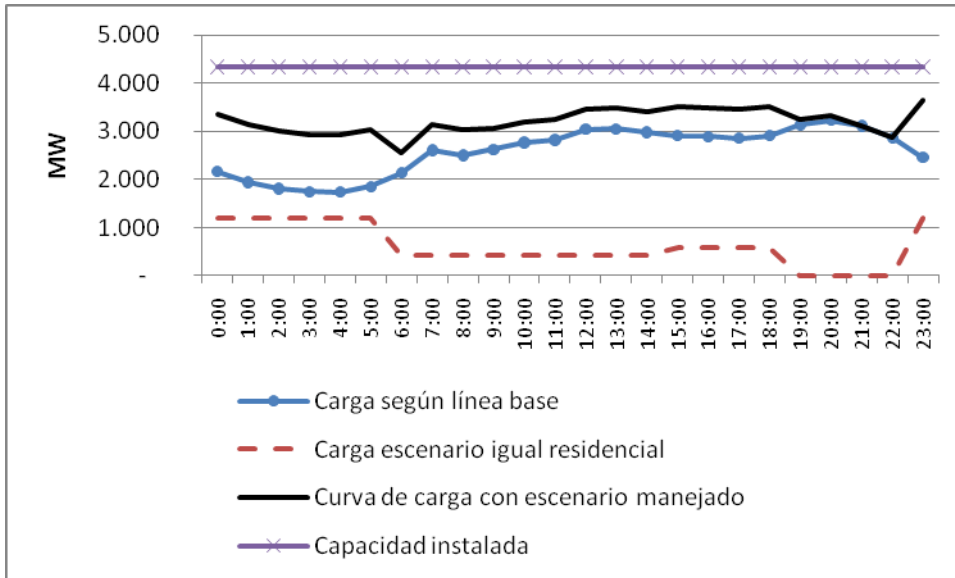
**Ilustración 43. Curva de Carga con Escenario y con Manejo de Demanda**



Fuente: Elaboración propia con base en Montes (2009)

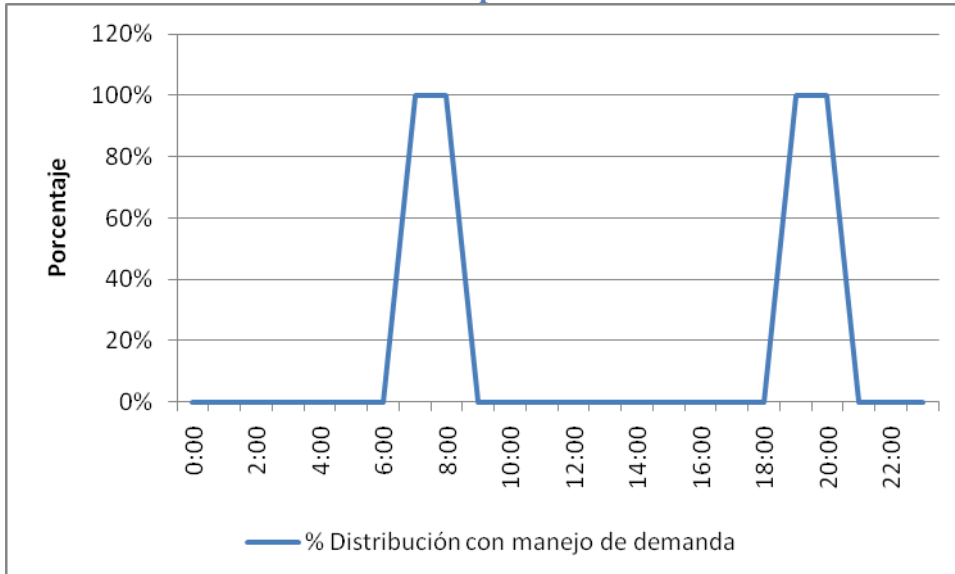
En la ilustración 44 se desarrollo un caso en que los vehículos dan soporte a la red mediante entrega de electricidad acumulada en sus baterías. Como parámetros se supone que soportan el sistema una vez por semana por dos horas en horas pico. Montes (2009) ofrece como parámetro una potencia de 1.32 KW de una automóvil Reva.

**Ilustración 44. Curva de Carga con Escenario, Manejo de Demanda y Soporte al 2021**



Elaboración propia con datos de Montes (2009)

**Ilustración 45. Distribución del Soporte de Vehículos Eléctricos a la Red**



Fuente: Elaboración propia con base en Montes (2009)

## **10.4 CALIDAD DE LA ENERGÍA APORTADA POR LOS VEHÍCULOS.**

De acuerdo a Montes (2009), el aporte de potencia de los vehículos eléctricos a la red, puede ocasionar algunos problemas de calidad de energía en la red pública, tanto por la utilización de cargadores de alta frecuencia como por la utilización de controladores de potencia, los cuales incrementan significativamente la cantidad de cargas no lineales al sistema.

Las armónicas individuales que genera el circuito en un cargador de baterías dependen del voltaje inicial en la misma y el contenido armónico global varía de acuerdo al tiempo. Los controladores de motores de c.a. de velocidad ajustable son usados en vehículos eléctricos y por lo tanto también para inyectar energía a la red mediante la tecnología V2G. La velocidad de un motor de c.a. es usualmente controlada por ajustes en el voltaje y en la frecuencia. Las corrientes armónicas aportadas al sistema por este tipo de control de velocidad ajustable de a.c. son las mismas que las generadas por los diversos rectificadores de 6 pulsos. La corriente aportada por estas fuentes tiene una alta distorsión armónica total y un alto contenido de tercera armónica.

Para Montes (2009), según lo anterior, es necesario evaluar mediante un estudio complementario, si la incorporación de una flotilla de vehículos eléctricos, afectaría considerablemente la red eléctrica del ICE por el aporte de distorsión armónica y si fuera así, proponer la necesidad de colocar filtros armónicos para evitar daños en transformadores y motores o el aumento de pérdidas.

### **10.4.1 Infraestructura requerida para recarga de vehículos eléctricos.**

Esta sección sigue la propuesta expuesta por Montes (2009) que ofrece una serie de recomendaciones fundamentadas en el Código Eléctrico Nacional y normas internacionales adoptadas para éste tipo de sistemas, considerando aspectos del métodos de cableado como polarización, intercambiabilidad, construcción e instalación, desconexión, puesta a tierra y equipo de construcción.



El sistema de recarga para vehículo eléctrico debe ser diseñado de forma que el suministro eléctrico sea suficiente y adecuado para la carga. El sistema de carga debe usar señalización con todo equipo de suministro eléctrico.

Los medios de acople para el sistema de recarga de vehículo eléctrico podrán ser tanto conductivo como inductivo. El cable del sistema de recarga para vehículo eléctrico debe ser tipo EV, EVJ, EVE, EVJE, EVT o EVJT de tipo flexible, no mayor a 7.62 metros.

El equipo de suministro eléctrico para recarga de vehículo eléctrico debe estar provisto de un medio de desconexión que desenergice el cable y el conector. Debe estar provisto con un medio automático para desenergizar el cable y el conector del vehículo eléctrico. La protección por sobrecorriente para los alimentadores y circuitos ramales de suministro para equipos de recarga de vehículos eléctricos debe ser diseñado para trabajo continuo con no menos de 125% de la máxima carga del equipo.

Para equipos de suministro eléctrico para recarga de vehículos eléctricos especificados a mas de 60 amperios y más de 150 voltios a tierra, el medio de desconexión debe estar proveído e instalado en un lugar de fácil acceso. Los sitios interiores incluidos no solo deben limitarse a espacios integrales, anexos y garajes residenciales separados, sino también parqueos subterráneos y talleres de reparación. El equipo de suministro eléctrico para vehículos eléctricos debe ser ubicado de tal forma que permita una conexión directa al vehículo, a una altura no menor de 450 mm y no mayor a 1.2 m por encima del piso.

De acuerdo a montes, un aspecto muy importante de valorar en el ámbito ambiental como parte del impacto por la introducción de tecnologías alternativas en el transporte, es la disposición de las baterías utilizadas en la acumulación de la energía para los mismos. Costa Rica en la actualidad no posee la infraestructura necesaria para el tratamiento de la gran cantidad de baterías que una flotilla de vehículos híbridos y eléctricos generaría, por lo tanto a nivel gubernamental ya existen algunas medidas como lo son las compras verdes, donde se obliga al proveedor a satisfacer dentro de los términos de referencia de compra, la responsabilidad por el tratamiento y reciclaje de las baterías.

## 10.5 SISTEMA DE RECARGA Y DESCARGA INTELIGENTE

Un desarrollo importante de infraestructura es lo que requiere la tecnología en el manejo de la demanda denominada como: V2G (vehicle to grid). La red eléctrica y los vehículos eléctricos funcionan como dos sistemas complementarios para el manejo de energía y potencia. Los vehículos eléctricos actúan como acumuladores de energía, pudiendo proveer potencia a la red mientras se encuentran parqueados. Un vehículo eléctrico puede ser un vehículo de baterías, celdas de combustible o híbrido enchufable.

Cada vehículo debe tener tres elementos esenciales: (1) un sistema de conexión a la red eléctrica para la transmisión de energía, (2) conexión lógica y de control para la comunicación con el operador de la red, y (3) los controles de medición dentro del vehículo.

Los sistemas internos para el funcionamiento de vehículos eléctricos se encuentran por encima de 10kW. En comparación, una residencia comprende un rango de potencia típico entre 20 kW y 50kW. Mediante la configuración anterior, solo se requiere del equipo de externo para interconectar el vehículo a la red. El otro límite para la entrega de potencia mediante V2G, es la energía almacenada menos la energía usada para realizar un recorrido planeado.

El dueño del vehículo requeriría un medio para deshabilitar o limitar la descarga del vehículo. Podría instalarse un sistema de recarga temporizada que permita recarga el vehículo solamente en periodos horarios con tarifas más bajas. Otra tecnología es un panel de control mediante el cual el conductor puede limitar el tiempo y la cantidad de energía en que la compañía eléctrica interviene el vehículo, para necesidades específicas de manejo. El equipo de control V2G asume también una forma de comunicación entre el vehículo y la compañía eléctrica.

## 11 LINEAMIENTOS DE POLÍTICA PARA EL DESARROLLO DEL TRANSPORTE ELÉCTRICO

Costa Rica ha realizado importantes inversiones y creado un marco institucional sólido para asegurar la sostenibilidad de la generación de electricidad con base en fuentes renovables. El Plan de Expansión Eléctrica (PEE) del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) para las próximas dos décadas plantea varios escenarios que tienen como objetivo central mantener el énfasis en el uso de fuentes renovables para la satisfacción de la creciente demanda de electricidad en el país. Se estima que el potencial hidroeléctrico será explotado mayoritariamente hasta el año 2030 cuando las principales inversiones en capacidad instalada serán consolidadas. Luego de ese momento, los esfuerzos por mantener la generación fundamentada en fuentes renovables dependerán cada vez más de las inversiones en otras fuentes (eólica, fotovoltaica, geotérmica, entre otras).

El sector eléctrico contrasta con otros componentes de la demanda energética del país, especialmente con el sector transporte. La dependencia de los sistemas de transporte en el uso de combustibles fósiles plantea retos importantes para consolidar un futuro energético sostenible. El transporte es en sí mismo el principal demandante de hidrocarburos, superando al sector eléctrico, a la industria y el sector residencial, juntos. Es también el principal generador de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del país. Las causas de esta realidad son diversas, incluyendo el limitado control de la eficiencia energética de la flota vehicular, los incentivos para el uso predominante del transporte individual y la falta de un transporte colectivo eficiente, la obsolescencia y el deterioro de la infraestructura vial y ferroviaria, y en general la ausencia de una planificación integral y coherente del sector transporte.

La sostenibilidad energética de Costa Rica depende directamente de los avances que se logren en la consolidación de un sistema de transporte eficiente, con infraestructura moderna, que satisfaga las crecientes demandas de transporte público y privado. Para reducir la dependencia de combustibles fósiles del sistema de transporte del país (y de la economía como un todo) se puede aprovechar el potencial eléctrico actual y futuro, de

manera que una parte importante de la demanda de servicios de transporte sea satisfecha en el mediano y largo plazo con electricidad generada en fuentes renovables. Los avances tecnológicos en el ámbito internacional en soluciones de transporte público y privado eléctrico indican que las posibilidades son numerosas, si bien requieren de cuantiosas inversiones, reformas institucionales y acciones de política con un horizonte de planeación de largo plazo. La velocidad con que el cambio tecnológico avanza, indica que el futuro de los sistemas de transporte modernos dependerá en gran medida de su *electrificación*. En este trabajo se plantean diversos escenarios para el desarrollo futuro del transporte eléctrico del país. Se estimaron los requerimientos tecnológicos y de inversión necesarios, con estimaciones sobre sus implicaciones económicas y ambientales. Este análisis sin embargo está condicionado a cambios en el entorno del país y al avance de políticas que se deben impulsar en diversas áreas.

Costa Rica tiene importantes ventajas competitivas para desarrollar el transporte eléctrico, dada la base renovable de su oferta de electricidad. Sin embargo, el país enfrenta significativos obstáculos de política para consolidarlo. Un punto central que debe considerarse es que el transporte eléctrico es un *componente* del sistema de transporte y, simultáneamente, es un sector de *demanda adicional* dentro del sistema eléctrico. Esta característica dual del transporte eléctrico implica necesidades de diseño de políticas diversas, que integran tanto la institucionalidad y organizaciones del sector transporte como del sector eléctrico, así como otras áreas de política pública clave.

Desde el lado del sector transporte, es fundamental contar con políticas de largo plazo, que contemplen e integren de lleno el transporte eléctrico como uno de sus ejes futuros. Es notable que el país no haya tenido desde años atrás una verdadera política de planificación para el desarrollo del transporte público y privado.<sup>9</sup> Es claro que el sector

---

<sup>9</sup> Actualmente se trabaja con la consolidación de un Plan Nacional del Sector Transporte con horizonte al año 2035. Este trabajo será oficialmente presentado en mayo del 2011. Este Plan deberá ser una de las bases para el análisis de los diversos lineamientos de política relacionados con el sector de transporte eléctrico que se busque impulsar en el mediano y largo plazo. Los resultados del presente trabajo deberían validarse e integrarse con los lineamientos generales del Plan.

de transporte eléctrico no puede desarrollarse de manera aislada o paralela, sino que requiere de los fundamentos de cualquier sistema de transporte moderno. Esto significa infraestructura de carreteras avanzada (y en algunos casos adaptada a los vehículos eléctricos), infraestructura ferroviaria acorde, regulación del transporte público y privado que fomente la competencia y la modernización de la flota (a nivel tarifario, de barreras del mercado y promoción de la competencia), y los esquemas de incentivos para fomentar el transporte eléctrico (los cuales tienen impactos fiscales que deben analizarse detenidamente). Las organizaciones públicas directamente relacionadas con estos temas son el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT) como ente rector, el Consejo de Transporte Público (CTP) como responsable de la administración y regulación del transporte público, y la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP) como encargada de fijar las tarifas del transporte público.

El MOPT (y sus diferentes Consejos) debe considerar el potencial del transporte eléctrico como uno de sus ejes de trabajo. Su Dirección de Planificación en ese sentido debería integrar la dimensión de electrificación del transporte como uno de los lineamientos de política en el mediano y largo plazo. Esto implica tanto el desarrollo de infraestructura vial y ferroviaria como la elaboración de cambios regulatorios o de la legislación vigente para “nivelar la cancha” al mercado de transporte eléctrico, tanto público como privado. En este sentido la coordinación con el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET) es fundamental. El Plan Nacional de Transporte 2035 que será presentado en el año 2011 debería estar alineado e integrado con los esfuerzos dentro de la Estrategia Nacional de Cambio Climático, la cual tiene como meta alcanzar la Carbono Neutralidad del país al año 2021. El sector transporte es central para lograr esta meta. Asimismo, la electrificación del transporte vendría a contribuir de manera significativa. De ahí la importancia de dar la prioridad política requerida a este esfuerzo.

El CTP jugará un papel clave en la electrificación del transporte público, dadas sus responsabilidades relacionadas con la asignación de recorridos de las rutas de autobuses y el control técnico de la flota. Asimismo, la representación de diversas organizaciones y grupos de interés en su Junta Directiva, si bien podría afirmarse que limita la celeridad en la toma de decisiones para la modernización del transporte público, también debe verse

como una fortaleza a ser explotada, ya que integra los principales actores que podrían favorecer o bloquear la electrificación de las rutas públicas de autobuses (MOPT, MINAET, Gobiernos Locales, empresarios, representante de usuarios). Dentro del trabajo actual del CTP para modernizar las rutas de transporte público (que incluye la racionalización del uso de las unidades automotores, el mejoramiento de la operación de las rutas, la optimización de recorridos y paradas, la disminución de los tiempos de viaje, entre otros), se debe analizar y evaluar cuál es la posible contribución del transporte eléctrico para alcanzar esos objetivos. Tanto a nivel de la flota de autobuses como desde una perspectiva integrada con otros medios (i.e. trenes, taxis). Por otra parte, el año 2014 es clave para el sector del transporte público, ya que será cuando se renueven las concesiones de rutas de auto buses. Se debe dar prioridad entonces a realizar los ajustes de política, reglamentarios y de integración y coordinación de organizaciones involucradas para fomentar el desarrollo del transporte público eléctrico. Esto demandará acciones concretas con relación a los estándares y características de la flota (vida útil, seguros, perfiles tecnológicos, seguridad, confort, entre otros), el establecimiento de parámetros técnicos rigurosos, y la eliminación de barreras de entrada para nuevos competidores en la oferta de servicios de autobuses. Se debe crear un sistema de incentivos que fomente la innovación, la eficiencia y la calidad para los usuarios. Debe integrarse asimismo el concepto de sostenibilidad ambiental en los criterios de renovación de concesiones (eficiencia energética, manejo de tecnología obsoleta).

Sumado a lo anterior el esquema de fijación de tarifas de autobuses deberá ajustarse de manera que incentive las inversiones en flota de autobuses eléctrica. Para lograr esto la ARESEP tendría que replantear el modelo tarifario actual, para incentivar una mayor eficiencia, calidad y seguridad en el servicio, sostenibilidad ambiental y productividad. La inercia con que se incluyen los costos operativos y de insumos (particularmente los hidrocarburos) y se fomenta el sobre uso de unidades en el modelo actual es un incentivo perverso que obstaculiza la inversión en nuevas tecnologías y la sostenibilidad del transporte público en general. El transporte eléctrico requerirá de esquemas novedosos de fijación de tarifas que incorporen las mejoras en la productividad y las externalidades ambientales en sus estimaciones.

En el corto plazo, el plan de inversiones para el 2011-2014 da importantes pasos para fortalecer la coordinación entre las diversas organizaciones involucradas con el sector transporte como requisito para consolidar las obras planificadas. Se debe aprovechar esta coyuntura para incorporar el tema del transporte eléctrico en los planes y acciones futuras de inversión. Los temas tecnológicos y de infraestructura relacionados con el transporte eléctrico son novedosos y demandarán esfuerzos adicionales para integrarse correctamente en la planificación del transporte público y privado.

Como aspecto global, debe plantearse una estrategia del transporte eléctrico en el país a largo plazo, integrada con el Plan Nacional de Transporte 2035. Esto requiere el establecimiento de hitos y metas en el mediano y largo plazo, relacionadas con el tamaño de la flota (autobuses, taxis, autos particulares, trenes), las características de esa flota (tecnología, costos, estándares), las inversiones requeridas (unidades, infraestructura, creación de capacidades), los cambios operativos, de competencias, legales y reglamentarios requeridos (coherencia institucional), el costo fiscal de las medidas de incentivos (eliminación de impuestos, aranceles de importación, subsidios), y el desarrollo del mercado y actores privados (promoción de la competencia). También demanda acciones integradas con otras políticas y planes de modernización del sector transporte como un todo, desde las inversiones en infraestructura (carreteras, puentes, líneas férreas) hasta el uso de medidas de regulación para el descongestionamiento vial, la integración de diversos modos de transporte, cambios en modalidades laborales, y el uso de combustibles alternativos, entre otras.

Por otro lado, el sector del transporte (eléctrico) debe desarrollarse como “sistema” integrado con la planificación urbana y el desarrollo territorial. Las ciudades crecen alrededor de los sistemas de transporte, lo que implica que la planificación macro es clave. Debe tenerse presente que el sector transporte es uno de los eslabones de la dinámica urbana y de organización del uso del suelo. Dentro de una visión sistémica, el transporte depende de y a la vez condiciona el desarrollo urbano. De ahí que la planificación urbana de largo plazo es un requerimiento clave para poder integrar tanto el sector transporte general como el transporte eléctrico. La forma en que se planifique el desarrollo comercial, industrial y habitacional del país, el ordenamiento geográfico de los puntos de

llegada y salida de recorridos y las decisiones de medio de transporte ligadas a esa realidad, serán determinantes del desarrollo del transporte eléctrico, más allá de otros factores de demanda. Asimismo, el impacto del transporte eléctrico en la demanda de energía, las emisiones y la eficiencia energética del país en general, estará sujeto a cómo se integren los planes de transporte en una estrategia país global. De ahí que la falta actual de un plan general regulador del desarrollo urbano a largo plazo puede ser un obstáculo importante para impulsar la electrificación del transporte eléctrico en el país.<sup>10</sup> Acá el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU), el Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos (MIVAH), el MINAET y otras organizaciones encargadas de la planificación urbana y del uso del suelo a largo plazo deberían incorporar en su trabajo el estudio del potencial del transporte eléctrico dentro de la estrategia de modernización de la dinámica urbana y la sostenibilidad de las ciudades.

Desde la perspectiva del sector eléctrico, su desarrollo es la base para hacer realidad el potencial del transporte eléctrico en el país. El liderazgo del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) son clave en las primeras etapas. En una primera fase las inversiones en infraestructura y tecnologías deberán ser impulsadas principalmente por el sector público o bien por alianzas público-privadas, para hacerle frente a los riesgos propios de una actividad que recién inicia su desarrollo y para apoyar el desarrollo del mercado de transporte eléctrico. Los temas centrales para una política de desarrollo del transporte eléctrico incluyen la creación y manejo de incentivos monetarios y no monetarios (para los vehículos y las tarifas eléctricas), las nuevas regulaciones requeridas y su alineamiento con el marco regulatorio actual del sector eléctrico (la Ley General de Electricidad), la infraestructura y su financiamiento, la estandarización de la tecnología (la cual se centra actualmente en

---

<sup>10</sup> El país cuenta desde años atrás con el trabajo del proyecto PRUGAM (Planificación Regional y Urbana de la Gran Área Metropolitana (GAM) del Valle Central de Costa Rica). Sin embargo, las recomendaciones de ese trabajo no han sido consideradas al momento por las autoridades gubernamentales. Tampoco se ha presentado ninguna alternativa para el desarrollo sostenible de la GAM en el mediano y largo plazo. Esta situación plantea un obstáculo importante para la planificación urbana y el papel que el sector transporte (eléctrico) jugará dentro de esta.



vehículos hidrocarburados), el manejo de las preferencias del consumidor y la demanda, y la cooperación internacional a través de transferencia de tecnología y conocimientos, así como el potencial apoyo financiero con el desarrollo de iniciativas de transporte eléctrico.

Adicionalmente, en el mediano y largo plazo, un marco de políticas claro y coherente es fundamental, para atraer inversiones del sector privado, tanto nacionales como extranjeras. Diversos aspectos para el desarrollo del mercado de transporte eléctrico privado deben ser considerados dentro de la planificación del sector eléctrico. Las baterías son un tema central. El alto costo de estas puede ser un obstáculo inicial para la adquisición de vehículos eléctricos o híbridos. En este sentido, el ICE, la CNFL y otras compañías del sector eléctrico (cooperativas, generadores privados) deberán plantearse cuál es el modelo de negocio más adecuado y si cabe la opción de desarrollar mecanismos de *leasing* donde las empresas eléctricas son las propietarias de las baterías. Otro tema clave es la infraestructura de recarga de los vehículos. Este aspecto es clave para generar la confianza de los consumidores que demandarán recargas frecuentes y rápidas. Asimismo las inversiones requeridas deberán llevarse a cabo con esquemas novedosos que reduzcan la presión sobre la tarifa eléctrica, ya que esta podría convertirse en un desincentivo para la adquisición de vehículos eléctricos o híbridos. Por otro lado, el desarrollo de un modelo de negocio basado en la interacción entre vehículos y la red eléctrica para optimizar el uso de las baterías podría ser atractivo para las empresas eléctricas. De esta forma, el ICE y la CNFL deberían impulsar estudios sobre las redes inteligentes y los requerimientos tecnológicos futuros para consolidar una red eléctrica integrada con el sistema de transporte eléctrico. Los momentos y tiempos de recarga de los vehículos es un tema central para el manejo de la curva de carga diaria y los esquemas de tarifas eléctricas. Asimismo, dado que está establecido que a partir del año 2030 el potencial de generación hidroeléctrica será plenamente aprovechado, se debe asegurar el desarrollo de fuentes de energía renovable alternativas, que hagan compatible y consistente un esfuerzo de electrificación del transporte con una menor dependencia de combustibles fósiles.

Existen numerosas opciones de política e iniciativas públicas que han venido siendo probadas como fase piloto o bien implementadas en varios países tanto desarrollados como en vías de desarrollo, con el objetivo de crear las condiciones necesarias para el desarrollo del mercado de transporte eléctrico. Costa Rica puede aprender de estas y plantear sus propias iniciativas, para lo cual se requieren estudios rigurosos que evalúen las diversas opciones que existen. La mayoría involucran al sector eléctrico y al sector transporte, pero igualmente a otras dependencias de gobierno como el Ministerio de Hacienda, por sus implicaciones fiscales. Un área importante es la compra estatal de vehículos. Muchos programas piloto de flota eléctrica o híbrida han sido desarrollados mediante la adquisición del sector público tanto por su impacto en la factura energética y la huella de carbono, como por su efecto demostrativo en la sociedad e incentivo para el desarrollo del mercado privado de vehículos.

Con relación a los impuestos y subsidios, se pueden explorar reducciones en los derechos de circulación o impuestos de ventas, así como subsidios para la compra de vehículos eléctricos o híbridos (los cuales podrán canalizarse a través de la banca o los mercados de carbono). Para efectos del desarrollo de infraestructura, se podrían impulsar proyectos demostrativos a nivel de ciertas áreas geográficas, con la participación de empresas públicas y privadas. En lo referente a la circulación, se podría eximir de la restricción vehicular a los vehículos eléctricos o híbridos, así como ofrecer parqueos gratuitos o crear carriles especiales para su tránsito. Asimismo, en el tema de la estandarización de la tecnología, se pueden impulsar medidas de límites máximos de emisiones más rigurosos o bien en la vida útil de los vehículos, para balancear los precios relativos entre el transporte hidrocarburado y el eléctrico.

Con relación a los trenes eléctricos, el trabajo del Instituto Costarricense de Ferrocarriles (INCOFER) ha sido positivo, sin embargo, se deben realizar evaluaciones precisas y rigurosas sobre el impacto que ha tenido el tren desde diversas perspectivas, someterlas al análisis y discusión públicas, e integrarlo de lleno dentro de la planificación del sector transporte como un todo. El desarrollo del transporte ferroviario es clave para consolidar un sector de transporte más eficiente y menos contaminante. Asimismo es un pilar para el desarrollo del transporte eléctrico. Sin embargo, si se avanza con esfuerzos que tienen

impacto pero que están aislados y poco coordinados con los planes nacionales de modernización e integración del sector transporte, su potencial se verá limitado en algún momento.<sup>11</sup>

## **12 REQUERIMIENTOS INSTITUCIONALES PARA EL DESARROLLO DEL SECTOR TRANSPORTE INTEGRADO CON EL SISTEMA ELÉCTRICO**

Como se mencionó en el anterior apartado, el desarrollo del transporte eléctrico del país está ligado al futuro de las políticas tanto en el sector transporte como en el sector eléctrico. Esto implica retos importantes a nivel institucional. Más aún, dado que el tema está directamente enlazado con el desarrollo energético y productivo del país como un todo, es necesario asegurar la *coherencia institucional* desde un punto de vista transversal, en las diversas áreas relacionadas con el transporte eléctrico.

Para el país es clave mantener la dependencia en electricidad *limpia* por varias razones. Primero, por el enorme potencial de generación hidroeléctrica, geotérmica, eólica y de otras fuentes con que cuenta el país y que puede ser ampliamente aprovechado. Segundo, por la seguridad económica que brinda la relativa autosuficiencia en materia energética. Tercero, por la contribución que el país hace a la mitigación del cambio climático al no depender de fuentes fósiles para producir electricidad. Cuarto, por la importancia estratégica de la electricidad limpia para el clima de negocios y la competitividad empresarial. De ahí que fomentar el sector de transporte eléctrico tendrá sentido solamente si este esfuerzo es consistente con una visión país integral que tenga como objetivo final la consolidación de un modelo de desarrollo sostenible.

Hay varias organizaciones que juegan un rol central para el desarrollo del sector de transporte eléctrico. Es fundamental que estas organizaciones cuenten con los recursos financieros, humanos y de competencias para que su labor sea realizada de manera

---

<sup>11</sup> Otros proyectos que se encuentran en fase de discusión como el Tren Eléctrico Metropolitano (TREM) o el tren de carga interoceánico, que se espera cuenten con la participación del sector privado (bajo el modelo de concesión), deberían estar claramente integrados dentro de la planificación futura del sector de transporte eléctrico del país.

efectiva. Asimismo, la creación de capacidades técnicas y gerenciales para impulsar el transporte eléctrico debe contar con todo el apoyo administrativo y político en el sector público. Una estrategia de electrificación del transporte público y privado puede apoyarse en “ejes comunes” de política. Los roles que juega cada organización pública con sus respectivos marcos jurídicos son clave. La estrategia de transporte eléctrico como componente de un Plan Nacional de Transporte puede complementarse con la meta de la Carbono Neutralidad y el marco regulatorio del sector eléctrico, como una herramienta integradora de esfuerzos. Las acciones del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT), Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), el Consejo Nacional de Transporte (CNT), y la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP), entre otras, debería alinearse con este objetivo de mediano y largo plazo. Como se resume en el siguiente cuadro, existe la necesidad de asegurar un involucramiento en diversas áreas clave para impulsar el transporte eléctrico en el país.

**Tabla 67. Involucramiento Institucional para el Desarrollo del Transporte Eléctrico**

Involucramiento	Sector Eléctrico ICE, CNFL	MOPT CTP	ARESEP	MINAET	Min. Hacienda	INCOFER
Planes Nacionales	X	X		X		X
Leyes y Reglamentos	X	X	X	X	X	X
Inversión	X	X			X	X
Creación de Capacidades	X	X				X
Análisis Técnicos	X	X				X
Liderazgo	X	X		X		
Coordinación		X		X		
Rendición de Cuentas	X	X				X

Fuente: elaboración propia

Se demanda también un mayor involucramiento no solo de las organizaciones públicas responsables del manejo de los recursos y de la elaboración de las políticas, sino de las instituciones de gobierno encargadas de la planificación económica, así como del sector privado, el cual debe también asumir su responsabilidad, dada la relevancia del tema para la modernización y sostenibilidad del sector transporte. La educación y concientización de la sociedad es igualmente fundamental. A medida que los costarricenses asimilen y

pongan en práctica nuevas maneras de aprovechar el transporte eléctrico, el país como un todo alcanzará mayores niveles de bienestar.

El marco institucional que facilite el desarrollo de una estrategia para el sector de transporte eléctrico debería contemplar las siguientes tareas:

- Alinear de manera lógica y consistente todos los componentes de políticas orientadas del sector de transporte y electricidad (energía), que hasta el momento se encuentran distantes y cuyos alcances carecen de una visión global de país. Esto con el fin de elaborar una política para el transporte eléctrico consistente y coherente con los esfuerzos nacionales para la eficiencia energética y la sostenibilidad como un todo.
- Integrar dentro de las políticas de otros sectores lineamientos estratégicos con relación al transporte eléctrico, como un elemento inherente al desarrollo de los planes y proyectos competentes a cada sector de acción tanto pública como privada.
- Coordinar de manera más estrecha y consistente la toma de decisiones en aspectos relacionados con el transporte eléctrico, el desarrollo energético y su sostenibilidad futura.
- Asegurar la incorporación de elementos de sostenibilidad del transporte público y privado dentro de la elaboración de los planes y proyectos de infraestructura de transporte y energéticos actuales y futuros.

Adicionalmente, una estrategia para el desarrollo del transporte eléctrico debe basarse en ejes de política que mantengan un norte común y que retroalimenten el marco institucional. Para lograr este objetivo se requieren acciones concretas con:

- Integración de las políticas: la estrategia nacional de transporte eléctrico debería tomar en consideración los principales retos económicos, ambientales y sociales desde una perspectiva integrada, e incluirlos de manera consistente.

- Marco de análisis inter-temporal: las políticas deberían adoptar un marco de planeación inter-temporal de manera que se pueda trabajar con metas e indicadores de largo plazo.
- Análisis y evaluaciones: herramientas de análisis integrado deberían utilizarse para poder hacer evaluaciones costo-beneficio de las acciones en el sector de transporte eléctrico, para tomar decisiones sobre “escenarios óptimos.”
- Coordinación institucional: el ICE, la CNFL, Ministerios y otras agencias gubernamentales deberían tener un “norte” de política claro, con un marco institucional que fomente la coordinación y la rendición de cuentas tanto en el diseño como en la implementación de la estrategia.
- Gobernabilidad local y regional: las autoridades locales y regionales (municipalidades, alcaldías etc.) deberían estar “en línea” con las políticas nacionales del sector de transporte eléctrico.
- Participación de actores principales: organizaciones gubernamentales, del sector privado y la sociedad civil deberían participar en los procesos del diseño de una estrategia de transporte eléctrico.
- Indicadores, metas, monitoreo y evaluación: el análisis cuantitativo y cualitativo de las metas y logros, así como los principales impactos del transporte eléctrico, debería ser parte integral del diseño de las políticas. Este debería seguir los siguientes pasos:
  - a. Indicar los impactos del transporte eléctrico en la productividad y el crecimiento económico (niveles de ingreso, empleo, equidad distributiva, inversiones en infraestructura, etc.)
  - b. Indicar los efectos ambientales del desarrollo del transporte eléctrico (eficiencia energética, reducción de emisiones, control de ruido, externalidades en salud) y cómo se aprovecharían (reducción de gastos médicos, mercados de carbono, tarifas eléctricas)

- c. Indicar los impactos sociales del transporte eléctrico (productividad de la fuerza laboral, reubicación residencial, oportunidades de trabajo)

Debido a lo novedoso de los sistemas de transporte eléctrico y sus numerosos requerimientos tecnológicos, de inversiones y marcos regulatorios, el involucramiento de diversas organizaciones del sector público es fundamental. El trabajo interinstitucional será un insumo imprescindible para fomentar un sector de transporte eléctrico en el país. Numerosos arreglos institucionales a nivel del ICE, MOPT, MINAET y otras organizaciones de Gobierno serán necesarios para consolidar el marco institucional que logre impulsarlo. Se requieren un enfoque de transversalidad que va más allá del sector transporte y el sector eléctrico. Más bien se requiere un enfoque “sombrija” donde el transporte eléctrico sea un componente más dentro de una visión país global con diversas metas, incluyendo la modernización del transporte, la sostenibilidad energética, y la Carbono Neutralidad.

### 13 REFERENCIAS

Alvarado, Fernando et al (2009). Memoria Estadística del Sector Energía 1989-2008. San José: DSE, 2009

Comisión Económica de América Latina– Dirección Sectorial de Energía (2009), Encuesta del recorrido medio anual de los vehículos en circulación en Costa Rica. DSE, 2009

Castro, René. 1999. Valuing the Environmental Service of Permanent Forest Stands to the Global Climate: The Case of Costa Rica. A thesis presented to The Doctor of Design Program. Harvard University Cambridge, Massachusetts.

CONSENERGY (2009). Servicio de Ingeniería con el fin de realizar un estudio para la introducción de Tecnologías Limpias y Eficientes en el Mercado Nacional. San José: MINAET, 2009.

De la Torre, Teófilo (2010). Hacia un nuevo modelo energético para nuestro país. San José: MINAET, 2010.

Dirección Sectorial de Energía (2008). Diagnóstico V Plan Nacional de Energía 2008-2021, San José, Costa Rica: Febrero de 2008.

Dirección Sectorial de Energía (2008). V PLAN NACIONAL DE ENERGÍA 2008-2021. San José, Costa Rica, Marzo de 2008.

Dirección Sectorial de Energía (2010). Balance Energético Nacional 2009. San José, Costa Rica, 2010.

Dirección Sectorial de Energía (2002). Memoria Estadística del Sector Energía De Costa Rica 2000 – 2001. Costa Rica, julio de 2002.

Francois, J., L. Rivera y H. Rojas-Romagosa (2009). “Economic Perspectives for Central America after CAFTA: A GTAP-based Analysis.” CPB Discussion Paper 99. CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis, 2008.



Monge-González, R., L. Rivera y J- Rosales (2010): Productive Development Policies in Costa Rica: Market Failures, Government Failures and Policy Outcomes. IDB Working Paper Series 157. Marzo 2008.

Montes, Iván (2009). Análisis del impacto por la introducción de una flotilla de vehículos eléctricos en el sistema eléctrico interconectado, San José: Tesis para optar por el grado de licenciatura en ingeniería eléctrica, 2009.

MINAET e IMN. Costa Rica 2009. Segunda Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. MINAET, IMN, GEF, PNUD. 2009.

MOPT y ENGEVIX. Estudio de Factibilidad Técnico, Legal, Financiero y Ambiental para Financiamiento y Gerenciamiento para la Concesión del Proyecto Tren Eléctrico Metropolitano Costa Rica. Varios Tomos. Agosto 2009.

Lawrence Pratt y otros (2010). Opciones de Mitigación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Costa Rica: Hacia la Carbono Neutralidad en el 2021, Abril 2010. En <http://conocimiento.incae.edu/~operac/needsminaet/files/pratt.pdf>

PRUGAM (2006), Documento para el Plan Nacional de Desarrollo Urbano (síntesis primera fase) Comisión de Vialidad y Transportes, San José: PRUGAM, 2006

Rivera, L. y H. Rojas-Romagosa (2009). “Análisis de Impacto sobre la Sostenibilidad (AIS) ante un Acuerdo de Asociación entre la Unión Europea y Centroamérica.” En S. Heieck et al, editores, Política Comercial en Centroamérica: Perspectivas del Acuerdo de Asociación con la Unión Europea y Retos para las Pequeñas y Medianas Empresas. Alajuela, C.R.: INCAE Business School, 2009.

Rivera, L. y H. Rojas-Romagosa (2010): Human Capital Formation and the Linkage between Trade and Poverty: The Cases of Costa Rica and Nicaragua. División de Comercio Internacional e Integración de la CEPAL. En prensa.

Vega, Edwin y otros (2004). Cuantificación de las externalidades en el transporte con tecnologías limpias. Costa Rica: Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), 2004