



**Centro de Investigación en Alimentación y  
Desarrollo A. C**

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN  
DEL RENDIMIENTO AMBIENTAL DEL SISTEMA  
PRIVADO DE MOVILIDAD URBANA: HERMOSILLO,  
SONORA 2005-2015**

---

Por:

**Pablo Hernández Arias**

TESIS APROBADA POR LA

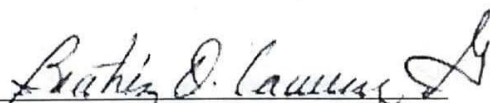
COORDINACIÓN DE DESARROLLO REGIONAL

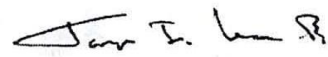
Como requisito parcial para obtener el grado de:


**DOCTOR EN DESARROLLO REGIONAL**

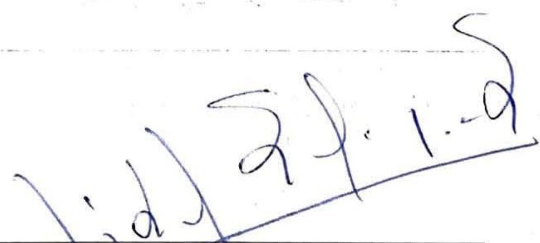
## APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de Pablo Hernández Arias, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Desarrollo Regional.

  
Dra. Beatriz Olivia Camarena Gómez  
Director de Tesis

  
Dr. Jorge León Balderrama  
Integrante del comité de tesis

  
Dr. Jesús Martín Robles Parra  
Integrante del comité de tesis

  
Dr. Vidal Salazar Solano  
Integrante del comité de tesis

## DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

La información generada en la tesis “Propuesta Metodológica para la Evaluación del Rendimiento Ambiental del Sistema Privado de Movilidad Urbana: Hermosillo, Sonora 2005-2015” es propiedad intelectual del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor Pablo Hernández Arias, siempre y cuando se dé crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita de quien ocupe la titularidad de la Dirección General del CIAD.

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del manuscrito en cuestión del director(a) de tesis.



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN  
ALIMENTACIÓN Y DESARROLLO, A.C.**  
Coordinación de Programas Académicos



Dr. Pablo Wong González  
Director General

## AGRADECIMIENTOS

Inicialmente quiero agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico e institucional brindado durante el tiempo que tomó desarrollar el presente documento.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. (CIAD A.C.) y a las Coordinación de Desarrollo Regional. Al Dr. Pablo Wong González, Director del Centro, y a todo el personal administrativo y de investigación por facilitar las condiciones de infraestructura, de servicios y académicas.

Especialmente quiero agradecer a la Doctora Beatriz Olivia Camarena Gómez el apoyo brindado durante el transcurso de mis estudios doctorales, por estar siempre presente en cada una de las etapas, brindando asesoría académica y apoyo moral en diversas situaciones personales que se me presentaron durante este periodo formativo.

También agradezco a cada uno de los integrantes de mi comité de tesis por su valiosa asesoría, el Dr., Jorge León Balderrama y el Dr. Vidal Salazar Solano, en particular al Dr. Jesús Martín Robles Parra, por sus consejos académicos y profesionales, por las charlas y debates teóricos y metodológicos que contribuyeron a mejorar esta investigación.

Un agradecimiento también a todos los maestros que tuve durante estos años, a quienes recordaré con respeto y admiración.

Finalmente, agradezco también a mis compañeros de generación 2017-2020, especialmente a mi amiga Ana Zoé Navarro Apodaca, por su apoyo, escucha atenta y buenos consejos.

Gracias a todos por apoyarme a concluir este proyecto.

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, a mi madre Graciela Arias Villegas, a mi padre Rommel E. Hernández Rodríguez, a mi hermano Rommel Hernández Arias, a mi hermana Ana Graciela Hernández Arias y sus dos hijas (mis sobrinas) Irene y Emilia González Hernández y su esposo José Luis González, por inspirarme y darme la fuerza para cumplir esta aventura.

De igual manera, quiero dedicar este trabajo a grandes amigos, que más que amigos son una gran familia: Marcela Celeste Ruiz, Analía Briones, Adrián Mercado, Víctor Cárdenas Nishikawa, Jesus Alejandro Uribe y Perla Garay Rentería, además de su hermosa hija a quien quiero como mi sobrina, Sofía Tirado Garay.

Finalmente, quiero dedicar este trabajo a una familia en especial, que por azares del destino me cobijaron como un miembro más de su familia, esos que en las buenas y en las malas estuvieron protegiéndome la espalda, y que, sin su apoyo, comprensión, consejos y cariño, esto no sería lo que es hoy. Especialmente quiero dedicar este trabajo a una persona que sin pensarlo estuvo presente en los momentos más críticos de esta singular aventura y que si bien no me acompaña más en mi camino, merece un especial reconocimiento y sobre todo un agradecimiento por toda la sabiduría, valentía y fortaleza que me brindó.

Termino compartiendo el siguiente pensamiento:

*Si vives siempre pegado a tus zapatos, no esperes nunca navegar en los vientos de cambio, confía en tus pies descalzos, atrévete a zarpar a un viaje sin retorno, a un destino sin puerto y cambia tu mundo. Crea nuevas ideas, inventa cuentos, canta canciones porque la vida es corta y se esfuma. No temas del futuro, vive en el presente, y deja atrás el pasado.*

*Anónimo*

## CONTENIDO

<b>APROBACIÓN</b> .....	2
<b>DECLARACIÓN INSTITUCIONAL</b> .....	3
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	4
<b>DEDICATORIA</b> .....	5
<b>CONTENIDO</b> .....	6
<b>LISTA DE ECUACIONES</b> .....	9
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	11
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	14
<b>RESUMEN</b> .....	17
<b>ABSTRACT</b> .....	18
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	19
<b>2. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL HUMANA EN CONTEXTO:</b>	
<b>DE LO GLOBAL A LO LOCAL</b> .....	23
2.1. Crecimiento Poblacional y el Deterioro Ambiental.....	23
2.2. Cambio Climático y Emisiones de GEI: Coadyuvantes del Deterioro Ambiental .....	27
2.2.1. Bases Científicas del Calentamiento Global y el Cambio Climático .....	27
2.3. Uso de la Energía y Deterioro Ambiental. ....	30
2.3.1. Situación del Uso de la Energía y las Emisiones de GEI en México. ....	33
2.3.2. Situación del Uso de la Energía y las Emisiones de GEI en Hermosillo, Sonora. ....	37
2.4. Eficiencia del Sistema Privado de Movilidad Urbana (SPMU) .....	41
2.5. Pregunta de Investigación.....	44
2.6. Objetivo General .....	44
2.7. Objetivos Específicos .....	44
2.8. Hipótesis .....	45
<b>3. LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL EN EL PENSAMIENTO ECONÓMICO:</b>	
<b>ORIGEN Y DESARROLLO</b> .....	46
3.1. De la Economía Clásica a la Economía Ambiental .....	48
3.1.1. El concepto de la Externalidad del Sistema Económico .....	49
3.1.2. Naturaleza del Problema y Asignación de Costos a las Externalidades.....	51
3.1.3. Naturaleza del Problema.....	53
3.2. De la Economía Ambiental a la Economía Ecológica .....	56
3.3. Economía Ecológica: Un Enfoque Multidisciplinario para Interiorizar el Ambiente .....	58
3.3.1. La Integración de las Ciencias Naturales en la Ciencia Económica.....	59
3.3.2. Interiorización de la Ciencia Ecológica y la Termodinámica en la Economía.....	59
3.3.3. El Enfoque Eointegrador que deriva la Economía Ecológica.....	62
3.3.4. Conceptos Básicos en la Investigación: Ecosistema, Medio o Entorno, y Ambiente Humano.....	65

## CONTENIDO (continuación)

<b>4. ESTUDIOS RELACIONADOS CON RENDIMIENTO AMBIENTAL Y ASIGNACIÓN DE VALOR A LAS EXTERNALIDADES DEL SISTEMA ECONÓMICO</b> .....	73
4.1. Valorización de las Externalidades del Sistema Económico .....	73
4.2. Tipos de Indicadores Ambientales .....	76
4.3. Rendimiento Ambiental vs Condición Ambiental .....	78
<b>5. ACERCAMIENTO METODOLÓGICO PARA LA ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO AMBIENTAL</b> .....	81
5.1. Elementos Considerados para la Construcción del IRA. ....	83
5.1.1. Concepto operativo: “Rendimiento Ambiental” y selección de variables .....	83
5.2. Objetivo Específico 1. ....	84
5.2.1. Energía y Emisiones de CO <sub>2</sub> Derivado de la Quema de Combustible en Fuentes Móviles (Automóviles) en Hermosillo, Sonora; 2005-2015. ....	84
5.2.2. Emisiones de CO <sub>2</sub> , Derivadas de la Compra de Bienes Energéticos (Gasolinas) y de Transporte (Automóviles) en Hermosillo, Sonora, 2005-2015. ....	89
5.2.3. Cálculo de Emisiones Provenientes de la Quema de Combustibles para Generar la Energía para Adquirir Bienes Energéticos y de Transporte. ....	92
5.2.4. Energía Contendida en las Externalidades (CO <sub>2</sub> ) .....	94
5.3. Objetivo Específico 2 .....	97
5.3.1. Valoración de la Energía entre Sistemas .....	97
5.3.2. Valoración de las Emisiones de Carbono .....	98
5.4. Objetivo Específico 3 .....	98
5.4.1. Rendimiento Energético .....	98
5.4.2. Rendimiento Económico .....	99
5.4.3. Rendimiento Ecológico. ....	100
5.4.4. Índice de Rendimiento Ambiental.....	104
<b>6. RESULTADOS DESCRIPTIVOS</b> .....	107
6.1. Resultados en Relación al Objetivo Específico 1 .....	108
6.1.1. Energía Transformada en Fuentes Móviles y Emisiones de CO <sub>2</sub> Producidas.....	108
6.1.2. Energía Transformada en Fuentes Fijas para la Adquisición de Bienes Energéticos y de Transporte y sus Emisiones Derivadas. ....	110
6.1.3. Energía no Aprovechable Derivada de Fuentes Móviles. ....	118
6.1.4. Energía no Aprovechable Derivada de la Quema de Combustibles Fósiles en Fuentes Fijas para la Adquisición de Bienes Energéticos y de Transporte. ....	120
6.2. Resultados en Relación al Objetivo Específico 2 .....	123
6.2.1. Valor de las Emisiones de CO <sub>2</sub> con base en la Energía Disipada en la Atmósfera y los Costos Energéticos-Uso del Automóvil.....	123
6.2.2. Valor de las Emisiones de CO <sub>2</sub> con base en la Energía Disipada en la Atmósfera y los Costos Energéticos-Adquisición de Bienes Energéticos y de Transporte.....	124
6.3. Resultados en Relación al Objetivo Específico 3 .....	124
6.3.1. Rendimiento Energético 2005-2015.....	125
6.3.2. Rendimiento Económico 2005-2015.....	126

## CONTENIDO (continuación)

6.3.3. Rendimiento Ecológico 2005-2015.....	128
6.4. Índice de Rendimiento Ambiental. ....	130
<b>7. INTERPRETACION DE RESULTADOS DEL ESTUDIO DE CASO: SPMU DE HERMOSILLO. SONORA, 2005-2015.....</b>	<b>132</b>
7.1. En lo Referente al Objetivo Específico 1 .....	132
7.1.1. Energía Transformada en Fuentes Móviles y Emisiones de CO <sub>2</sub> Producidas.....	132
7.1.2. Energía Transformada en Fuentes Fijas para la Adquisición de Bienes Energéticos y de Transporte y sus Emisiones Derivadas. ....	135
7.2. En lo Referente al Objetivo Específico 2 .....	140
7.3. En lo Referente al Objetivo Específico 3 .....	143
7.3.1. Gasto Monetario en la Compra de Energéticos y Pérdidas Monetarias en el Proceso de Combustión en Fuentes Móviles.....	143
7.3.2. Gasto Monetario en la Compra de Energéticos y Pérdidas Monetarias en el Proceso de Combustión en Fuentes Fijas .....	144
7.4. En lo Referente al Objetivo Específico .....	146
7.4.1. Índice de Rendimiento Energético .....	146
7.4.2. Índice de Rendimiento Económico. ....	148
7.4.3. Índice de Rendimiento Ecológico. ....	150
7.4.4. IRA (Índice de Rendimiento Ambiental) .....	151
<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>152</b>
8.1. Conclusiones Específicas. ....	153
8.2. Conclusiones del Estudio de Caso .....	154
8.3. Limitaciones del Estudio y Recomendaciones .....	155
<b>9. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>157</b>
<b>10. ANEXO: ANEXO METODOLÓGICO –MICRO-INDICADORES.....</b>	<b>163</b>
10.1. Micro-indicadores Energéticos.....	163
10.1.1. Energía Consumida por Persona Transportada. ....	163
10.1.2. Energía por Distancia Recorrida.....	165
10.1.3. Energía Utilizada por kg de Carbono Emitidos a la Atmósfera. ....	166
10.2. Micro-Indicadores Económicos.....	167
10.2.1. Gasto Anual en Transporte.....	167
10.2.2. Gasto por Distancia Recorrida.....	168
10.2.3. Valor Monetario de las Emisiones de Carbono.....	169
10.3. Micro-Indicadores Ecológicos.....	170
10.3.1. Volumen de Carbono por Persona.....	170



## LISTA DE ECUACIONES

<b>Ecuación</b>	<b>Página</b>
1. Valoración del nivel de entropía del medio. Elaboración propia. ....	71
2. Ecuación para calcular el CO <sub>2</sub> del transporte terrestre.....	86
3. Ecuación para calcular la energía contenida en las gasolinas en Tera Joules. ....	88
4. Ecuación para determinar la energía necesaria para adquirir bienes energéticos y de transporte.....	92
5. Ecuación para determinar el tipo de combustible que se carburo para generar la energía necesaria para adquirir bienes energéticos y de transporte. ....	93
6. Ecuación para determinar la energía que el sistema sede al medio en forma de dióxido de carbono con valores de capacidad calorífica a la temperatura media donde se hizo la emisión y presión constante. ....	95
7. Ecuación para estimar el valor económico de las pérdidas de energía disipada a la atmósfera basado en el volumen de energía que se pudo adquirir con \$1.00 por su forma, del año correspondiente.....	97
8. Ecuación para la valoración de un Kilogramo de dióxido de carbono, por tipo de fuente y periodo emitido.....	98
9. Ecuación para determinar el rendimiento energético del sistema de transporte. ....	99
10. Ecuación para estimar el rendimiento económico del sistema de transporte.....	100
11. Ecuación para estimar el rendimiento ecológico del sistema de transporte.....	101
12. Serie de ecuaciones para estimar el volumen de combustible para generar la fracción de energía para adquirir bienes energéticos y de transporte correspondientes a cada tipo de combustible utilizado en el periodo. ....	102
13. Ecuación para estimar el contenido de carbono por tipo de combustible. ....	103
14. Ecuación para estimar el índice de rendimiento ambiental.....	104
15. Ecuación para estimar el índice de rendimiento energético. ....	105
16. Ecuación para estimar el índice de rendimiento económico. ....	105
17. Ecuación para estimar el índice de rendimiento ecológico. ....	106
18. Ecuación para estimar la cantidad de energía que requiere una persona para transportarse en un año.....	164
19. Ecuación para estimar la cantidad de energía que se disipa en forma de CO <sub>2</sub> por persona para transportarse en un año. ....	164
20. Ecuación para determinar la cantidad de energía que se requiere para transportar a una persona en una distancia determinada.....	165

## LISTA DE ECUACIONES (continuación)

<b>Ecuación</b>	<b>Página</b>
21. Ecuación para determinar la cantidad de energía que se disipa al transportar a una persona en una distancia determinada. ....	165
22. Ecuación para determinar la cantidad de energía que se emplea para generar un kilogramo de carbono a la atmósfera .....	166
23. Ecuación para determinar el valor de la inversión anual por persona para el transporte. ....	167
24. Ecuación para determinar las pérdidas económicas por la energía que se disipa en forma de dióxido de carbono. ....	167
25. Ecuación para determinar el gasto anual por distancia recorrida en un periodo determinado. ....	168
26. Ecuación para determinar las pérdidas monetarias por distancia recorrida en un periodo determinado.....	168
27. Ecuación para estimar el valor del carbono en un periodo determinado. ....	169
28. Ecuación para determinar la cantidad de carbono que se requiere para trasladar una persona una distancia determinada. ....	170
29. Ecuación para determinar la cantidad de carbono que se pierde en forma de dióxido de carbono por el traslado de una persona en una distancia determinada. ....	170
30. Ecuación para determinar el volumen de carbono que se requiere para una distancia determinada .....	171
31. Ecuación para determinar la el volumen de carbono que se pierde durante el recorrido de una distancia determinada.....	171

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Página</b>
1. Crecimiento poblacional y respectivas Tasas de Crecimiento Acumulado en estados del Noroeste de México. 1990-2010.....	25
2. Crecimiento poblacional, de automóviles. 1995-2016. ....	37
3. Matriz de seguimiento para la construcción del indicador de Rendimiento Ambiental. ....	84
4. Volumen de ventas de gasolinas en Hermosillo, Sonora 2005-2015 .....	86
5. Factores de emisión para gasolinas en México .....	87
6. Poder Calorífico Neto de las gasolinas en México.....	88
7. Volumen de energía que se adquiere por un peso en México, en función de los precios de mercado presentados por la Secretaría de Energía. ....	90
8. Precio unitario de los combustibles en México 2005-2015 .....	90
9. Precio unitario de los vehículos en Hermosillo 2005-2015. ....	91
10. Valores estimados para el costo anual total de un vehículo en circulación, año base 2005.....	91
11. Consumo por tipo de combustible para la generación de electricidad en México 2005-2015.....	93
12. Factores de emisión para diferentes combustibles en México .....	94
13. Temperatura máxima media en Hermosillo, Sonora y temperatura media en México a nivel nacional 2005-2015 y valores de capacidad calorífica a presión constante.....	95
14. Densidad y contenido de carbono para los combustibles utilizados en México para la generación de Energía Eléctrica. ....	101
15. Poder calorífico neto para los combustibles utilizados en México para generar electricidad, 2005-2015 .....	103
16. Poder calorífico neto para los combustibles utilizados en México para generar electricidad, 2005-2015 .....	109
17. Energía contenida en las gasolinas vendidas para su uso en fuentes móviles en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.....	110
18. Energía producida en fuentes fijas para adquirir bienes energéticos en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.....	111
19. Combustibles fósiles (en unidades energéticas) para carburación en fuentes fijas que producen energía eléctrica o calor y que se destina a la adquisición de bienes energéticos en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.....	112

## LISTA DE CUADROS (continuación)

<b>Cuadro</b>	<b>Página</b>
20. Combustibles fósiles (en unidades volumétricas) para carburación en fuentes fijas que producen energía eléctrica o calor y que se destina a la adquisición de bienes energéticos en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.....	112
21. Gasto anual en la adquisición de bienes de transporte en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.....	113
22. Energía producida en fuentes fijas que producen energía eléctrica o calor y que se destina a la adquisición de bienes de transporte en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.....	114
23. Combustibles fósiles (en unidades volumétricas) para carburación en fuentes fijas que producen energía eléctrica o calor y que se destina a la adquisición de bienes de transporte en Hermosillo, Sonora, 2005-2015. ....	115
24. Emisiones asociadas a la adquisición de bienes energéticos por tipo de combustible adquirido en Hermosillo, sonora, 2005-2015. ....	116
25. Emisiones asociadas a la compra de bienes energéticos (gasolina P. Magna) por tipo de combustible utilizado en la fuente, en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.....	116
26. Emisiones asociadas a la compra de bienes energéticos (gasolina P. Premium) por tipo de combustible utilizado en la fuente, en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.....	117
27. Emisiones asociadas a la adquisición de bienes de transporte en Hermosillo, sonora, 2005-2015.....	117
28. Emisiones asociadas a la compra de bienes de transporte (automóviles) por tipo de combustible utilizado en la fuente, en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.....	118
29. Energía no aprovechable derivada de la quema de combustibles P. Magna y P. Premium en fuentes móviles en Hermosillo, Sonora, 2005-2015. ....	119
30. Energía no aprovechable derivada de la quema de combustibles fósiles en fuentes fijas para la adquisición de bienes energéticos en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.....	120
31. Energía no aprovechable por tipo de combustible, derivada de la quema de combustibles fósiles en fuentes fijas para la adquisición de bienes energéticos en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.....	121
32. Energía no aprovechable derivada de la quema de combustibles fósiles en fuentes fijas para la adquisición de bienes de transporte en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.....	122
33. Energía no aprovechable por tipo de combustible, derivada de la quema de combustibles fósiles en fuentes fijas para la adquisición de bienes de transporte en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.....	122

## LISTA DE CUADROS (continuación)

<b>Cuadro</b>	<b>Página</b>
34. Crecimiento del costo de las emisiones de dióxido de carbono por el consumo de gasolinas en Hermosillo, son. 2005-2015.....	123
35. Crecimiento anual de los costos de las emisiones de dióxido de carbono, generadas a partir de la generación eléctrica para producir la renta para la adquisición de bienes de transporte y energéticos. Hermosillo, Sonora, 2005-2015. ..	124
36. Energía que ingresa al sistema de transporte (Q1) y energía no aprovechable que el sistema cede al medio (Q2) en Hermosillo, Sonora, 2005-2015. ....	125
37. Rendimiento energético del automóvil en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.....	126
38. Gasto monetario anual y pérdidas económicas derivados del uso del automóvil en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.....	127
39. Rendimiento económico del uso del automóvil en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.....	127
40. Miles de toneladas de carbono empleadas para el funcionamiento de los automóviles e intensidad de consumo de carbono por vehículo en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.....	128
41. Miles de toneladas de carbono emitidas por el funcionamiento de los automóviles e intensidad de emisiones de carbono por habitante de Hermosillo, Sonora, 2005-2015.....	129
42. Rendimiento ecológico en Hermosillo, Sonora, 2005-2015. ....	129
43. Índice de rendimiento energético, económico y energético del uso del automóvil en Hermosillo, Sonora, 2005-2015. ....	130
44. Índice de Rendimiento ambiental del uso del automóvil en Hermosillo, Sonora 2005-2015.....	131
45. Variación del IEPS en las gasolinas vendidas en México 2005-2015.....	142

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Tasa de crecimiento de la concentración poblacional en zonas urbanas de México. 1960-2017.....	24
2. Efecto Invernadero.....	29
3. Distribución de Emisiones de gases de efecto invernadero por fuente por sector económico.....	31
4. Giga toneladas de emisiones de gases de efecto invernadero [Gt CO <sub>2</sub> -eq] del sector económico transporte. ....	32
5. Crecimiento poblacional, en relación con el crecimiento en generación de energía per cápita en.....	33
6. Generación total de energía y energía proveniente de fuentes fósiles en México de 1971 a 2015. ....	34
7. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por diferentes fuentes en México de 1960 a 2014. ....	35
8. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del sector Transporte en México de 1971 a 2014. ....	35
9. Vehículos registrados en México en el periodo comprendido de 1995 a 2015.....	36
10. Hermosillo, Son., 1995-2016. Índice de motorización [automóviles privados] por c/1000 habitantes. ....	38
11. Población de los municipios de Hermosillo, Mexicali y Culiacán en 2005. ....	39
12. Rutas de camiones urbanos y número de camiones urbanos en operación, los años 2015-2016 y 2019 en Culiacán, Sinaloa; Mexicali, Baja California; y Hermosillo, Sonora.....	39
13. Variación en el consumo de combustibles, Pemex Magna, Premium, Nova y Diésel en Hermosillo, Son. 1995-2016. ....	40
14. Variación en gasto monetario [millones de pesos] en combustibles, Pemex Magna, Premium, Nova y Diésel en Hermosillo, Son. 1995-2016. ....	40
15. Variación de emisiones de carbono por el uso de combustibles de los automóviles privados y camiones para transporte colectivo. 1995-2016. ....	41
16. Eficiencia de emisiones [Gramos de dióxido de carbono por kilómetro recorrido, gCO <sub>2</sub> /km del transporte en países de la OCDE. ....	42
17. Eficiencia de emisiones [Toneladas de Carbono por kilómetro recorrido, TCO <sub>2</sub> /km] de los automóviles registrados en Hermosillo, Son. 1995-2010. ....	43

## LISTA DE FIGURAS (continuación)

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
18. Interacciones del Ambiente Humano y Sistema Social con subsistemas político, cultural y económico, ecosistema y sistema atmosférico.....	60
19. Formación del Medio ambiente. Relación entre Sistema o biosistema y el medio en el que se encuentra sumergida (Primera aproximación). ....	66
20. Medio o Ambiente natural. Relación de sistemas naturales entre sí y con el medio, caracterizado por la ausencia de sistemas humanos y con tendencia al equilibrio. ....	69
21. Sistema antropogénico o ambiente humano. Interacciones del sistema social con otros sistemas del medio (ecosistema, atmosférico). ....	70
23. Problemática ambiental humana: variación de la entropía de los sistemas y sus variables, que incrementan el grado de entropía en el medio. Se define cómo variables del sistema a: Tasa de Producción de Recursos Naturales [TPRNECO], Tasa de Devolución de .....	71
24. Concepto operativo: “Rendimiento Ambiental”, del sistema motorizado de transporte de personas en zonas urbanas. Elaboración propia.....	83
25. Árbol de decisión para las emisiones de CO2 procedentes de la quema de combustible en los vehículos terrestres.....	85
26. Esquematización del balance de energía del sistema de movilidad urbana; uso del automóvil privado para el transporte de personas.....	96
27. Crecimiento del calor empleado y el calor no aprovechable en fuentes móviles en Hermosillo, Son., 2005-2015.....	132
28. Variación consumo de Energía y emisión de carbono a la atmósfera por la quema de combustibles en fuentes móviles en Hermosillo, Son., 2005-2015.....	133
29. Variación del Rendimiento del automóvil (MJ/Km) en Hermosillo, Son., 2005-2015. ....	134
30. Variación de la tasa de crecimiento del crecimiento del parque vehicular y el consumo de gasolinas en Hermosillo, Son., 2005-2015. ....	134
31. Costo de la energía eléctrica, la gasolina PEMEX Magna y PEMEX Premium, en Hermosillo, Son., .....	135
32. Calor empleado y calor no aprovechado en la generación de energía para adquirir bienes energéticos en Hermosillo, Son., 2005-2015.....	136
33. Energía empleada y emisiones de dióxido de carbono emitidas a la atmósfera, derivados de la adquisición de bienes energéticos en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.....	136

## LISTA DE FIGURAS (continuación)

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
34. Costo energético para adquirir gasolinas, por tipo de combustible en Hermosillo, Son., 2005-2015.....	137
35. Energía empleada y calor no aprovechado para la adquisición de automóviles en Hermosillo, Son., 2005-2015.....	138
36. Venta de automóviles nuevos a nivel nacional y vehículos nuevos registrados en Hermosillo, Son. 2005-2015.....	138
37. Variación en la energía empleada para adquirir bienes de transporte y emisiones de carbono asociadas en Hermosillo, Son., 2005-2015. ....	139
38. Gasto Energético Neto anual para la adquisición de vehículos en Hermosillo, Son., 2005-2015.....	140
39. Crecimiento del costo de las emisiones de CO2 derivadas del consumo de gasolina en automóviles de Hermosillo, Sonora, 2005-2015.....	141
40. Variación del costo de las emisiones de dióxido de carbono derivadas de la adquisición de bienes de transporte y energéticos. ....	143
41. Variación del crecimiento del gasto monetario y las pérdidas monetarias por la adquisición de gasolinas y la combustión de ésta en fuentes móviles en Hermosillo, Son., 2005-2015.....	144
42. Gasto monetario y pérdidas económicas propias de la compra de gasolinas y la combustión de energéticos en fuentes fijas para producir la energía necesaria para adquirir las gasolinas en Hermosillo, Son., 2005-2015.....	145
43. Gasto económico y pérdidas económicas propias de la adquisición del parque vehicular y la combustión de energéticos en fuentes fijas para producir la energía necesaria para adquirir bienes de transporte en Hermosillo, Son., 2005-2015 .....	146
44. Variación del índice de rendimiento energético (%) del SPMU en Hermosillo, Son., 2005-2015.....	147
45. Variación de la energía suministrada vs energía perdida del SPMU en Hermosillo, Son., 2005-2015.....	147
46. Variación del índice de rendimiento económico del SPMU en Hermosillo, Son., 2005-2015.....	148
47. Variación del incremento de la demanda de energía, el precio de la energía y el incremento del parque vehicular en Hermosillo, Son., 2005-2015.....	149
48. Variación del índice de rendimiento ecológico del SPMU en Hermosillo, Son., 2005-2015.....	150
49. Variación del IRA del SPMU en Hermosillo, Son., 2005-2015.....	151



## RESUMEN

Una de las expresiones del actual proceso de urbanización ha sido la intensificación del sistema privado de movilidad urbana (SPMU), proceso que ha llevado al incremento del consumo de energía y de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmosfera. El estudio de este tipo de problemas, de carácter socio-ambiental, requiere de enfoques multi o transdisciplinares, particularmente los asociados al sistema de transporte terrestre urbano. Por ende, en esta investigación se retoma el enfoque ecointegrador (Naredo, 1987), para analizar el SPMU a partir de construir un Índice de Rendimiento Ambiental (IRA) utilizando indicadores de rendimiento energético, económico y ecológico. Se plantea como hipótesis que el Rendimiento Ambiental del SPMU es dado por el cambio de energía en el sistema y la valoración de la energía disipada en sistemas adyacentes. La investigación se centra en el SPMU del municipio de Hermosillo, Sonora, México durante el período del 2005 al 2015. Los resultados mostraron un rendimiento ecológico con tendencia positiva (expresado en la reducción de las emisiones de carbono, del gasto en energía y de las pérdidas monetarias); no obstante, un IRA con tendencia a la baja, debido a factores exógenos del SPMU, particularmente por la baja del poder adquisitivo, el mayor costo de la energía y del precio de las unidades, por tanto, se confirma la hipótesis.

**Palabras Clave:** *Sistema movilidad urbana, Rendimiento, Rendimiento ecológico, Índice de Rendimiento Ambiental, enfoque ecointegrador.*

## ABSTRACT

One of the most important expressions of the urbanization process has been the intensification of the urban mobility private system (PUMS); this situation has been expressed in the increase of the energy consumption and the emission of greenhouse gases to the atmosphere, both processes related to the contemporary environmental problem. Thus, the use of systemic and interdisciplinary approaches is recommended for the study of urban mobility. On this research, the eco-integrative approach proposed by Naredo, (1987) is taken, for the PUMS analysis from the construction of an Environmental Performance Index (EPI), using different index such as energetic, economic and ecologic indexes. The study Hypothesis is that the environmental performance of the UMPS is given by the energetic change in the system and the value of the dissipated energy to adjacent systems and it's directly related to the sustainable regional development. This research focused on ten years of the PUMS of Hermosillo, Sonora (2005-2015). The results showed an ecological performance with a positive trend (expressed by the carbon emission, money spending and money losses reductions), but an EPI with negative trend. The conclusion is that the PUMS, on this case and period of interest, confirm the theoretical hypothesis, the performance of the EPI is explained by exogenous factors of the PUMS, particularly by the loss of the buying capability, the increase of the energy costs and the vehicle costs.

**Key Words:** *Urban mobility system, Performance, Ecological performance, Environmental Performance Index, Eco-integrative focus.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, factores derivados de los procesos de urbanización (crecimiento poblacional, migración de zonas rurales a urbanas, demanda de recursos naturales creciente en las urbes, entre otros), han impactado la calidad ambiental de los territorios y regiones donde dicho fenómeno se manifiesta, entendida la calidad ambiental como el conjunto de variables ecosistémicas que, por acción de la naturaleza y/o de los seres humanos, se mantienen en niveles adecuados para sustentar la vida en el planeta, por ende, también son prioritarias para la subsistencia humana (Benavides, 2011).

Un factor importante de alteración de la calidad ambiental de los territorios es la urbanización. Según Lates, E. (1995), este fenómeno se aceleró a partir de mediados del siglo pasado, sobre todo en los países desarrollados aunque similar comportamiento presentaron la mayor parte de los países de América Latina, entre ellos México.

Datos publicados por el Banco Mundial (2018), muestran que la población de México pasó de casi 40 millones en 1960 a más de 120 millones en el 2018 y si en la década de los 60's la mitad de la población se concentraba en zonas urbanas, al finalizar la presente década (2010-2020), cerca del 90% de la población se ubicará en zonas urbanas. Aguilar (1999), agrega que tanto el crecimiento poblacional como la concentración de la población en zonas urbanas no han sido simétricos en el territorio nacional y que han sido las regiones centro y centro-norte las que presentan más ambos fenómenos.

La región noroeste de México ha presentado un crecimiento urbano menos acelerado pero su población ha mantenido una tendencia de crecimiento similar a la nacional. Según datos del INEGI (2016), los estados de Sinaloa, Sonora, Baja California y Baja California Sur mantuvieron tendencias de crecimiento poblacional similares a otras regiones del país, pero en menor intensidad, su población aumentó entre un 25 y 50 por ciento de 1990 al 2010.

De hecho los estados del noroeste destacan por su dinamismo económico y diversificación productiva, siendo indicador de ello el corredor internacional CANAMEX que los atraviesa. Este eje comercial va del centro del país hasta Estados Unidos y Canadá, pasando por Mazatlán, Topolobampo, Guaymas y Hermosillo, siendo ésta última ciudad la puerta de entrada y salida de mercancías hacia los países del norte (Instituto Municipal de Planeación de Hermosillo, 2018). En

este contexto, importa precisar que la población de Hermosillo pasó de poco más de 550 mil habitantes en la década de los noventa a cerca de 900 mil habitantes en el 2015 (INEGI, 2017b), y según proyecciones de COESPO (2015-2021) alcanzará la cifra de 931 mil habitantes en este año 2020.

Ahora bien, varios estudios han vinculado distintas expresiones locales que asume la problemática ambiental contemporánea (PAC) con el crecimiento poblacional que presentan las grandes urbes. Harris & Harris (2000), por ejemplo, argumentan que el actual esquema de crecimiento urbano está desconectado de un horizonte más amplio que permita conservar las condiciones socio ambientales; e interesados en presentar una imagen real de la condición ambiental del territorio, han revisado el desarrollo territorial urbano para analizar cómo ese factor del crecimiento poblacional se conjuga con otros factores más que inciden en la calidad ambiental. Ubicados en este factor del deterioro ambiental y considerando la diversidad de factores que intervienen en tal problemática, se puede suponer entonces que el deterioro ambiental en localidades con características poblacionales similares, estará también asociado con su particular configuración territorial y económica.

En este trabajo se acepta que la PAC es de carácter global, compleja y antropogénica (Camarena, 2006). Global, porque sus afectaciones trascienden lo local, al alterarse procesos homeostáticos de varios ecosistemas; compleja, porque en su origen y desarrollo interactúan varios procesos, actores e instituciones sociales, los dos últimos con posicionamientos económicos y políticos muchas veces encontrados; y antropogénica, por asociarse a un modelo de desarrollo económico, industrial, humano, impulsado por grupos sociales con intereses económicos específicos. Esta acotación de la PAC es compatible con el planteamiento del párrafo anterior: las expresiones locales que asume la PAC en los centros urbanos dependerán de la configuración territorial y económica que ahí se lleven a cabo; y explica ese gran desafío que el desarrollo sostenible representa para las regiones, particularmente al atender el calentamiento global o el cambio climático, la contaminación hídrica o pérdida de biodiversidad, entre otras. Veamos.

El calentamiento global según Steffen & Hughes, (2013), es causado por el incremento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmosfera, procesos que han desencadenado un fenómeno subyacente, entendido como cambio climático. Si bien de manera natural existe la generación de cantidades limitadas de gases de efecto invernadero (por fenómenos geológicos y biológicos propios de la biósfera), los cuales son simétricos con la capacidad de absorción de los reservorios de carbono, como los océanos; al potenciarse el modelo de crecimiento y desarrollo

industrial, e incrementarse las actividades de alto consumo de energía, basados en energía fósil, también se elevaron los cambios de uso de suelo en la agricultura y los procesos industriales, entre otros. Todo ello redundó en la conformación de fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero que interfieren, cada vez más, con el equilibrio entre fuentes naturales de emisión y reservorios (Kennedy, 2009; Steffen & Hughes, 2013).

En esa lógica, importa precisar que entre las actividades de origen antropogénico que generan el mayor porcentaje de las emisiones de GEI están las del sector transporte: representan poco más del 14% del total de tales emisiones (IPCC, 2014b), de las cuales más del 90% corresponden al Sistema Privado de Movilidad Urbana (SPMU). El SPMU está constituido por el conjunto de automóviles utilizados sólo para el traslado de personas y mercancías.

Sirvan los puntos hasta aquí expuestos para justificar la presente investigación.

El fenómeno de urbanización en el caso del municipio de Hermosillo ha incidido en el crecimiento del parque vehicular del SPMU (INEGI, 2017b), fenómeno que ha propiciado una mayor demanda de energía para satisfacer las necesidades del sistema (SENER, 2017). Y si bien cerca del 45% de las familias en el territorio de Sonora cuentan con un vehículo para sus actividades (INEGI, 2017), datos de FIMEVIC (n.d.) refieren que del 2005 al 2015 se presentó una subocupación vehicular (el índice de ocupantes por vehículos oscila entre 1.2 y 1.7, un ocupante para fines prácticos), lo que sugiere el uso de más unidades por familia y, por ende, la generación de más emisiones de carbono por dicho sector.

No obstante, datos del IPCC (2014b), muestran un mejoramiento considerable de la eficiencia del transporte privado, al menos en los países de la OCDE, y se proyectan aún más mejoras para el año 2020; cifras que difieren mucho del comportamiento en las emisiones del sector, siendo este tipo de inconsistencias las que permiten plantear el problema de investigación de este trabajo: los estudios realizados hasta hoy sólo miden la eficiencia del sector y no su rendimiento como sistema. Según Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine (1993) evaluar la eficiencia de determinado sector implica estimar la cantidad de energía suministrada en un sistema vs. la cantidad de trabajo obtenido. Este procedimiento técnico de evaluación ha dejado de lado la evaluación integral del sistema. Para subsanar esta limitante, se sugiere analizar el rendimiento del sistema, ajuste que implica valorar la cantidad de energía suministrada al sistema vs la cantidad de energía aprovechada y la cantidad de energía que se pierde (que propicia cambios de estado en el sistema y en sistemas adyacentes). En pocas palabras, se destaca la necesidad de analizar los flujos de

energía que presenta el SPMU y su relación con los principales sistemas adyacentes del medio (Moran & Shapiro, 2004).

Por tanto, el objetivo de esta investigación es valorar el rendimiento del SPMU desde una perspectiva integral tomando como eje analítico el enfoque eointegrador y como procedimiento metodológico la construcción del Índice de Rendimiento Ambiental (IRA) a través de indicadores de rendimiento energético, económico y ecológico. La hipótesis del estudio es que el IRA del SPMU es dado por el cambio de energía y la interiorización de las externalidades. Como estudio de caso para probar tal aseveración se analiza el SPMU del municipio de Hermosillo, Sonora, México, durante los diez años que van del 2005 al 2015.

El trabajo se estructura en 7 capítulos.

En el segundo se describe el contexto global, regional y local de la problemática ambiental asociada al SPMU.

En el tercer capítulo se presenta el marco teórico-conceptual de esta investigación. En el primer apartado se describe brevemente cómo la ciencia económica ha abordado los problemas ambientales, se enfatiza el rompimiento epistemológico entre los objetos de la economía y el mundo físico; y cómo la misma disciplina intenta interiorizar los factores que inicialmente dejó fuera de su óptica, se destacan entonces la economía ambiental, la economía ecológica y en ésta, el enfoque eointegrador, sus planteamientos y limitaciones.

En el capítulo cuarto se describe el estado del arte, o estudios referenciales consultados en relación con los temas de valoración de externalidades del sistema económico y Rendimiento ambiental.

El quinto capítulo es el capítulo metodológico. Se explicitan objetivos (el general y los específicos), hipótesis, universo y unidades de estudio, procedimiento metodológico que orientó la construcción del Índice de Rendimiento Ambiental de SPMU, y procedimiento de análisis para comprobación de hipótesis y alcance de objetivos.

Los resultados empíricos del estudio se describen en el capítulo sexto y, en el séptimo, la discusión y análisis de tales resultados. Finalmente, en el octavo capítulo se plantean las conclusiones de la investigación, con base en hipótesis y objetivos propuestos; se precisan algunas limitaciones identificadas y recomendaciones para trabajos futuros.

## **PROBLEMÁTICA AMBIENTAL HUMANA EN CONTEXTO: DE LO GLOBAL A LO LOCAL**

### 2.1. Crecimiento Poblacional y el Deterioro Ambiental

Históricamente, tanto en México como en el mundo, se han acelerado las tasas de crecimiento poblacional a la vez que se han presentado fuertes procesos de migración de zonas rurales hacia zonas urbanas, situación que ha configurado un nuevo esquema de desarrollo territorial para soportar la presión que tales fenómenos generan en los servicios ambientales y en las condiciones socioculturales que tienen lugar en cada contexto regional.

La urbanización es entendida entonces como un “...*proceso complejo que se manifiesta a través de grandes fenómenos...*”, el primero es dado por el incremento constante de la población dentro de las urbes y el segundo por la “... *evolución de la forma de vida de la población, de un tipo tradicional-rural a otro moderno-urbano*”(Unikel, 2016:139). Lates, E., (1995), al estudiar el nivel de urbanización presentado en la región de América Latina, lo compara con el alcanzado por países desarrollados y observó lo siguiente: hasta el año 1925 la región americana tenía niveles muy bajos y distantes de los alcanzados por las regiones más desarrollados del mundo; pero de 1926 a 1975, incrementó sus niveles de urbanización hasta alcanzar niveles similares a los de los países del primer mundo; advierte que de continuar esa tendencia de urbanización hasta el año 2025, tanto Latinoamérica como Norteamérica, incrementarán sus niveles de urbanización hasta alcanzar, respectivamente, el 84.8% y 84.7% de la población total en sus respectivos territorios.

Importa precisar que ese proceso de urbanización vivido por Latinoamérica del año 1925 al año 1986, no fungió como factor determinante para la reducción de la pobreza –como pasó en otras regiones del mundo–, y que al contrario, se incrementó: en el año 1970 el 37% de la población urbana era considerada como pobre y para fines de los 80’s tal proporción paso al 57%; tan solo en cuatro años los residentes urbanos en situación de pobreza pasaron de 94 millones (en 1986) a 104 millones (en 1989), por ello se dice que en Latinoamérica “...*la pobreza se ha convertido en un problema mayoritariamente urbano*”. (E.Lates, 1995).

En el caso de México, datos de población presentados por el Banco Mundial (2018), dan cuenta

de un crecimiento demográfico considerable del año 1960 al año 2017, al pasar de 38 millones 147 mil habitantes en el primero, a 129 millones de habitantes en el segundo; también en ese período se incrementó significativamente el nivel de urbanización, al inicio del período el 50% de la población se concentraba en zonas urbanas y al final del período el 79.8% de la población total se concentra en las urbes del país (The World Bank, 2018) (véase imagen 1)

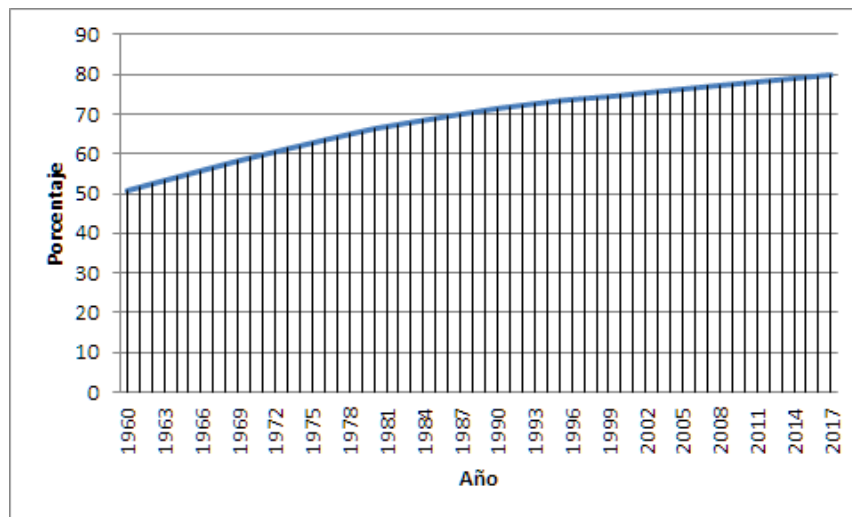


Imagen 1. Tasa de crecimiento de la concentración poblacional en zonas urbanas de México. 1960-2017. Fuente: Elaboración propia con base en datos de World Bank Group, 2018.

La Población rural, en contraparte, ha presentado una tendencia a la baja. De ocupar el 50% del total nacional en 1970, pasaron a ocupar el 39% veinte años después. Las tasas de crecimiento de las poblaciones urbanas presentan un comportamiento diferenciado respecto de los valores brutos alcanzados por la población nacional, su variación fue de casi dos puntos porcentuales e incluso tasas de 4% anual (Aguilar, 1999). Según estudio de Aguilar (1999), la región de mayor concentración poblacional en el país es la Centro (Ciudad de México, Puebla, Hidalgo, Cuernavaca, Querétaro, entre otras), seguida por la región Centro-Occidente y la Centro-norte, ambas regiones concentran cerca del 61% de la población urbana nacional y el 76% de la correspondiente a zonas metropolitanas.

Por otro lado, están las regiones emergentes en el territorio nacional, conformadas por ciudades medianas que concentran niveles de población menores que los presentados por las primeras regiones citadas. Estas zonas emergentes son consideradas de importancia estratégica por su



ubicación geográfica, influencia socioeconómica y/o implicaciones sobre el clima y el ecosistema regional. Tal es el caso del noroeste de México, que agrupa a los estados de Sinaloa, Sonora, Baja California y Baja California Sur, cuya población mantuvo, en un periodo de 20 años (1990-2010), tasas de crecimiento similares al de otras regiones del país (véase cuadro 1) (INEGI, 2016b).

Estado	1990	2010	%	TCA [%]
Baja California Sur	317,764	637,026	50.11	3.53
Baja California	1,660,855	3,155,070	47	3.26
Sonora	1,823,606	2,668,480	31.50	1.9
Sinaloa	2,204,054	2,767,761	20.36	1.14

Cuadro 1. Crecimiento poblacional y respectivas Tasas de Crecimiento Acumulado en estados del Noroeste de México. 1990-2010.

Fuente: Elaboración propia con base en información del Sistema Municipal de Bases de Datos [INEGI, 2016].

De hecho, la característica de la región noroeste del país ha sido su dinamismo económico en actividades del sector agrícola, ganadero, minería, turismo, manufactura y de servicios. Cuenta con importantes puertos marítimos y aeropuertos internacionales, por ejemplo, el corredor CANAMEX, eje comercial que cruza desde México hasta Canadá, que ha facilitado el desarrollo de actividades productivas en el Noroeste del País al brindar infraestructura adecuada y suficiente para el transporte de mercancías y de personas. Dicho corredor parte de la Ciudad de México hacia la Ciudad de Guadalajara y Tepic, sigue por la costa de México, en el Pacífico, cruza los puertos de Mazatlán, Topolobampo y Guaymas, llega al Municipio de Hermosillo y continúa hacia la frontera por la Ciudad de Nogales, Sonora, donde cruza a Tucson y Phoenix, Arizona. El corredor CANAMEX facilita el transporte de diferentes tipos de productos por la región oeste de Estados Unidos de América (IMPLAN, 2018).

Una de las ciudades de mayor importancia en la región noroeste de México es la ciudad de Hermosillo, capital administrativa del estado de Sonora. Su ubicación geográfica y condiciones ecosistémicas le han permitido desarrollar una amplia gama de actividades económicas, entre las cuales destacan la industria y el comercio en su área urbana y, en las zonas rurales cercanas a la capital, la agricultura, la ganadería la pesca y la minería. Las varias vocaciones productivas del municipio y su desarrollo económico, han favorecido el incremento poblacional y de la mancha urbana, caracterizada ésta por un crecimiento horizontal y una mayor demanda de recursos de todo

tipo. Por ello se dice que el proceso de urbanización presentado por el municipio de Hermosillo representa por una parte beneficios sociales, pero también, por la otra, afectaciones de tipo ambiental perjudiciales. Esto debido a situaciones y actividades como la ocupación del espacio, la carencia de áreas verdes, la intensificación de la actividad industrial, el incremento en el parque vehicular, sistemas públicos de transporte y servicios deficientes, entre otros, vinculados todos a fenómenos de degradación del ecosistema y de la *calidad ambiental* (Benavides, 2011).

El Observatorio Ambiental de la Unión Europea (2010), citado por Benavides (2011), define el concepto “calidad ambiental” como:

*“...El conjunto de propiedades, elementos o variables del medio ambiente, que hacen que el sistema ambiental tenga mérito suficiente como para ser conservado, es decir, las características propias del medio que por la acción de la naturaleza y el hombre preservan sus condiciones en niveles óptimos para la vida armónica de todos los seres vivos, razón por la cual deben ser considerados prioridad de conservación para la humanidad (p. 184).*

Por tanto, se puede argüir que, en gran medida, los fenómenos de desarrollo territorial determinados por el crecimiento poblacional y la migración de zonas rurales a zonas urbanas, inciden directamente en la capacidad de carga de los ecosistemas que proveen servicios a las sociedades con las que se interactúa, situación que va en detrimento de la calidad ambiental de las regiones, por ende, de la PAC. Aquí importa precisar que esto no significa que el deterioro ambiental sea generado por el crecimiento poblacional, sino más bien se considera que es consecuencia de determinada organización territorial y/o planeación del desarrollo urbano.

Históricamente, durante todo el siglo XX, la planeación del desarrollo urbano ha tendido a favorecer el crecimiento sectorial urbano, pero esa planeación estratégica ha sido sin considerar un horizonte temporal más amplio, lo cual ha derivado en una desarticulación entre desarrollo territorial y calidad socio-ambiental, como se cita a continuación:

*...Tal vez el ejemplo más evidente de esta reformulación en el enfoque hacia el crecimiento urbano se ha producido en el discurso reflejado en la praxis: la planificación era reemplazada por la gestión en forma discursiva y en la práctica. El acento estaba puesto en la gestión de diversas intervenciones por instrumentos normativos y financieros (Harris & Harris, 2000).*

Es decir, la planificación urbana del territorio ha sido en favor del desarrollo de una sociedad cada vez más industrializada...” *modificando de manera sustancial la relación de los seres humanos*

*con la naturaleza*". Y ese desarrollo industrial ha dado origen a un problema de escasez de recursos, acumulación de residuos y otros problemas ambientales. Orellana (2007) precisa en ese mismo sentido, que los asentamientos humanos han separado las localizaciones geográficas de las localizaciones ecológicas, quedando cada vez más distanciadas las regiones donde se llevan a cabo las actividades económico-productivas, de aquellas donde son vertidos los desechos resultantes de tales actividades, procesos que presionan directamente la capacidad de carga de los ecosistemas.

*... "Se define como capacidad de carga, la población de una determinada especie que un hábitat definido puede soportar indefinidamente, sin dañar permanentemente al ecosistema del que son dependientes". (Orellana, 2007)*

Entiéndase capacidad de carga como:

*... "la tasa máxima de consumo de recursos y descarga de residuos que puede sostener indefinidamente sin desequilibrar progresivamente la integridad funcional y la productividad de los ecosistemas principales"*

En tales procesos está implicada entonces la interacción de cuatro variables: a) apropiación de capital natural, b) vertido de residuos, c) capacidad del ecosistema para proveer recursos y d) la capacidad del ecosistema para asimilar residuos (Orellana, 2007).

## 2.2. Cambio Climático y Emisiones de GEI: Coadyuvantes del Deterioro Ambiental

Existen varios factores que pueden alterar la calidad ambiental de un territorio, en esa gama de factores están las emisiones de GEI, estos denotan un desequilibrio entre reservorios y fuentes naturales de emisión, proceso que tiende a exacerbar complejos efectos ambientales, en este caso, el cambio climático. A continuación, los principales términos implicados en esta problemática.

### 2.2.1. Bases Científicas del Calentamiento Global y el Cambio Climático

De acuerdo con Steffen & Hughes (2013), existe una confusión común entre clima y tiempo. Se

entiende como tiempo a lo que se espera día a día (p. ej. El tiempo es lluvioso, caluroso, frío, etc.), y por clima el promedio del tiempo a lo largo de un periodo determinado, de por lo menos tres décadas (p.ej. El clima de la edad media fue particularmente frío). Sin embargo, el clima va más allá del promedio de los aspectos del tiempo en un periodo determinado, ya que el clima como tal, es determinado por diversos factores, entre los que destacan procesos físicos (balance de energía), geológicos (los mares y la atmósfera) y biológicos (procesos típicos de los factores bióticos, como la fotosíntesis o las actividades humanas), que conforman el entorno ambiental de la superficie terrestre o biósfera (Steffen & Hughes, 2013).

Por tanto, los sistemas climáticos, solo se pueden comprender entendiendo los flujos de energía que se dan entre la atmósfera, los océanos y los procesos que transforman la energía en la superficie terrestre. Uno de los intercambios energéticos más importantes y que dan sustento a la vida en la tierra tal y como la conocemos es el “Efecto Invernadero” (imagen 2) (Steffen & Hughes, 2013). El efecto invernadero, inicia cuando la energía radiante proveniente del sol (energía de onda corta), se introduce en la atmósfera terrestre, parte de ella es reflejada de vuelta al espacio, por las nubes y los casquetes polares, pero otra parte importante logra penetrar hasta la superficie terrestre, siendo absorbida por la tierra, las plantas (para ser transformada) y los cuerpos de agua. Posteriormente, debido al desequilibrio térmico momentáneo, parte de la energía absorbida en la tierra, es emanada de vuelta a la atmósfera en forma de calor (energía de onda larga); es en ese momento que los GEI que se encuentran en la atmósfera, debido a su estructura molecular característica, absorben la energía e irradian calor, manteniendo así una temperatura, relativamente cálida, capaz de mantener la vida en la tierra tal y como la conocemos (imagen 2).

Los GEI son generados por la actividad geológica, la actividad biológica y, recientemente, por actividades antropogénicas. Entre los GEI están el vapor de agua ( $H_2O$ ), el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), el metano ( $CH_4$ ), el óxido nitroso ( $N_2O$ ), el hexafloruro de azufre ( $SF_6$ ), los halocarbonos (gases sintéticos principalmente utilizados por su capacidad refrigerante); su principal característica es que no interactúan con la energía lumínica, pero si con la energía térmica (Steffen & Hughes, 2013).

Aquí conviene precisar que el fenómeno denominado efecto invernadero es de vital importancia para la vida en la Tierra, de no existir el efecto invernadero, la temperatura en el planeta sería alrededor de  $30^{\circ}C$  menos de la que se tiene. El problema es que desde el siglo XIX a la fecha las emisiones de GEI se han incrementado de manera significativa, elevando la temperatura media de

la Tierra, fenómeno conocido como calentamiento global porque ha modificado el clima a escala planetaria, problema actualmente conocido como Cambio Climático (Kennedy, 2009).

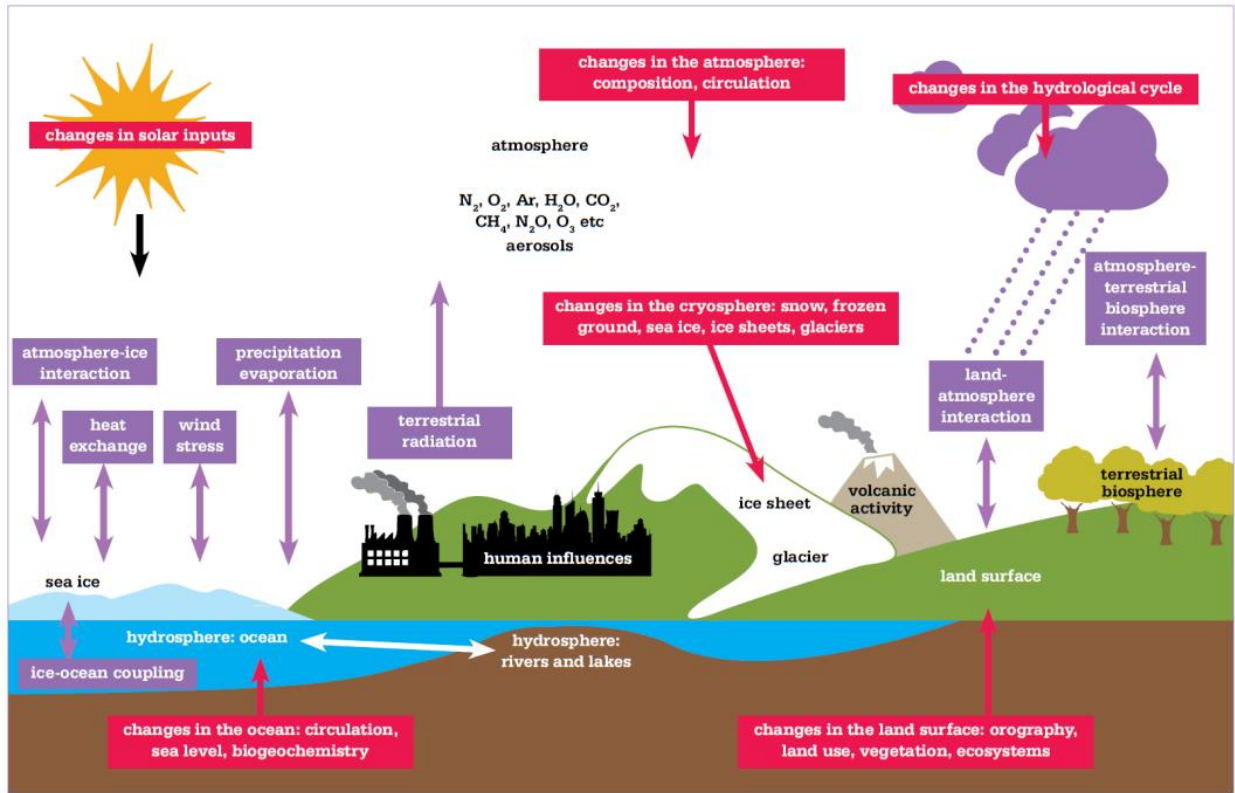


Imagen 2. Efecto Invernadero

Fuente: Recuperado de: The Critical Decade 2013: Climate change science, risks and responses [Pp. 12]

Kennedy (2009), en “*Carbon dioxide: Earth’s Hottest Topic is Just Warming Up*”, reconoce que existen fuentes de emisión y reservorios naturales de GEI. En las fuentes de emisión se encuentran los procesos propios de las plantas, animales y microorganismos, que generan en conjunto, anualmente, cerca de 55 mil millones de toneladas de carbono; y por otro lado están los reservorios naturales de carbono, por ejemplo, los mares y los bosques, que de manera natural se encuentran en equilibrio con los emisores de gases de efecto invernadero. Sin embargo, a partir de los procesos industriales que desencadenó la Revolución Industrial, esas actividades de tipo antropogénico serán responsables de emitir los GEI que han quebrantado ese equilibrio entre reservorios naturales y fuentes de emisión naturales.

### 2.3. Uso de la Energía y Deterioro Ambiental.

Hasta aquí se ha planteado que la PAC asociada a las emisiones de GEI, deriva del desequilibrio entre reservorios y fuentes naturales de emisión de GEI, siendo la causa principal de tal desequilibrio las emisiones generadas por actividades antropogénicas.

Las emisiones antropogénicas en comparación con las emisiones naturales son considerablemente menores, sin embargo, los reservorios naturales tienen una capacidad finita de absorción de carbono, por lo que un incremento en las emisiones de GEI a la atmósfera, lleva a los reservorios de carbono al límite de su capacidad. Ejemplo de esto es que desde el año 2008, las emisiones globales provenientes de la quema de combustible fósil alcanzaron 8.7 miles de millones de toneladas de carbono al año, mientras que las emisiones generadas por el cambio de uso de suelo fueron alrededor de 1.5 miles de millones de toneladas por año; la capacidad excedente de los reservorios naturales para absorber el carbono antropogénico, ha sido de una tasa no mayor de 5.3 miles de millones de toneladas al año. Ello ha culminado en un incremento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, provocando el aumento de la temperatura media del planeta y modificando los procesos que estabilizan el clima en la Tierra (Kennedy, 2009).

En ese conjunto de actividades antropogénicas, se atañe una mayor responsabilidad sobre el cambio climático a aquellas relacionadas con el uso de energéticos fósiles, sea por extracción, transformación y/o uso de la energía fósil; el uso, cambio de uso de suelo y silvicultura (AFOLU, por sus siglas en inglés), que implica la deforestación de zonas selváticas y boscosas, y la reducción de grandes reservorios de carbono; la agricultura y la producción de animales domésticos; los procesos productivos, como la transformación química de algunos materiales; y finalmente la generación y degradación aerobia y anaerobia de los residuos generados por las actividades humanas (imagen 3) (Steffen & Hughes, 2013).

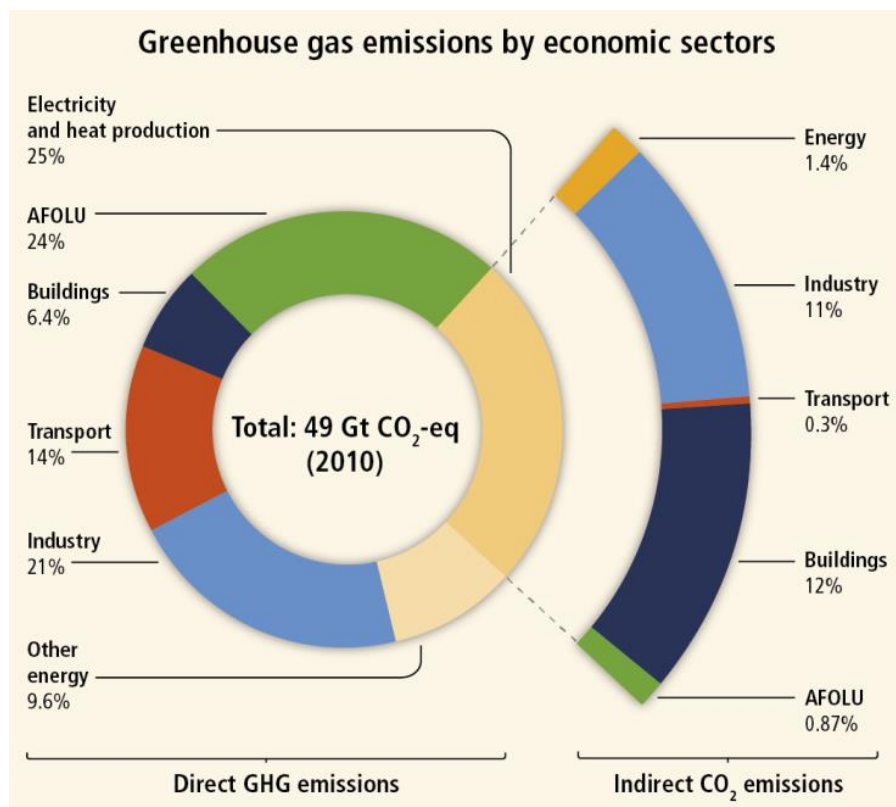


Imagen 3. Distribución de Emisiones de gases de efecto invernadero por fuente por sector económico  
Fuente: Tomado de Copyright IPCC, 2014.

El cambio climático, derivado del calentamiento global, representa un severo problema para la vida tal y como la conocemos. El problema se manifiesta a escalas global, regional y local, tanto en el sistema social como en el ecosistema y la atmósfera. Esto es debido a que hoy en día, el funcionar del aparato económico y de servicios depende de los recursos provistos por la naturaleza. En caso de que esos recursos fueran alterados por cambios en el ecosistema, las afectaciones más directas de la PAC serían las actividades productivas y extractivas propias del sistema social.

Por ello el abordaje de la PAC con fines comprensivos exige un abordaje sistémico, que considere las interacciones dialécticas de los fenómenos, procesos y actividades involucradas, como es el caso de las actividades antropogénicas que generan emisiones. Por ejemplo, el uso de combustibles fósiles para mantener el sistema económico, altera la composición química de la atmósfera y por ende el clima, éste impacta directamente en la sociedad porque altera el entorno, incrementa la temperatura y modifica los sistemas bióticos que están en la base de la estructura social y económica de los países o regiones territoriales.

Y es que en la actualidad, el funcionamiento de la sociedad depende de uno o varios procesos que entrañan el uso de energía, sea ésta para la producción, procesado y transportación de los alimentos, manufactura de bienes y servicios, o bien para apoyar o facilitar actividades domésticas como son la iluminación, preparación de alimentos, control de la temperatura, u otros (Hernández, 2014).

En el período comprendido de los años 1990 al 2010, la demanda de energía convencional se mantuvo por encima de la demanda de energía renovable, y presentó un incremento constante. Datos del año 2009 a nivel mundial refieren una producción primaria de energía (gas y petróleo) de 12,291.7 millones de toneladas de petróleo equivalentes (Tonpe), de tal oferta de energía la correspondiente a energía fósil represento el 80%, y el 27.3% de ésta fue en actividades relacionadas con el transporte (SENER, 2015).

De acuerdo con Dick, Gasca, González & Guzmán (2004), en los países que conforman la OCDE (Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo), el sector transporte, conformado por el transporte carretero, aéreo, ferroviario y marítimo, generan cerca del 27% de las emisiones de carbono, la mayor parte de las emisiones del sector, del 55 al 99% se atribuyen al transporte carretero (imagen 4).

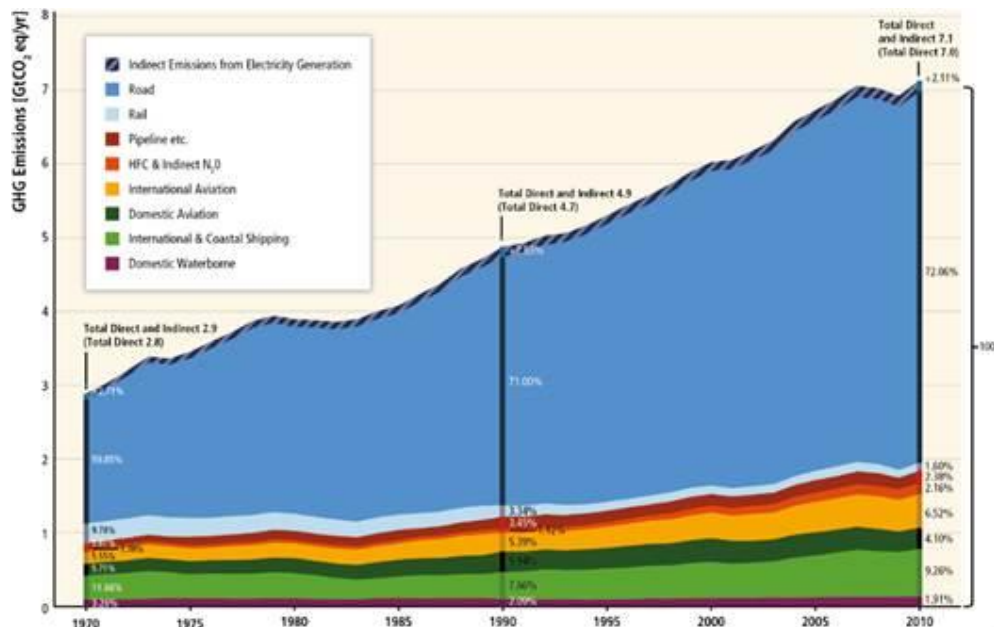


Imagen 4. Giga toneladas de emisiones de gases de efecto invernadero [Gt CO<sub>2</sub>-eq] del sector económico transporte.

Fuente: Tomado de Copyright IPCC, 2014.



En ese ámbito mundial, las emisiones derivadas del transporte carretero se incrementaron en el período comprendido entre 1990 y 1999, principalmente automóviles ligeros para el transporte de personas (entiéndase como SPMU), sus tasas de crecimiento superaron las presentadas por el sector agrícola y el industrial (imagen 4) (Dick et al., 2004).

México también ha presentado un aumento de las emisiones de GEI, en gran parte como resultado del incremento de unidades en el sector transporte, así lo confirman datos de 1990-2010-2015 respecto del uso del transporte, principalmente transporte ligero para transporte de personas. A continuación, algunos datos del uso del transporte en México y factores de incidencia clave.

### 2.3.1. Situación del Uso de la Energía y las Emisiones de GEI en México.

Acorde con cifras del Banco Mundial, México ha incrementado la generación de energía per cápita nacional, casi en el mismo ritmo que se ha incrementado la población: ésta última pasó de 53,718,724 habitantes en 1971 a 125,890,949 habitantes en 2015, mantuvo un crecimiento promedio sostenido de 1.95% anual, un crecimiento total durante el período del 57.32%; mientras que el consumo de energía por habitante, en kilogramos de petróleo equivalentes (Kgpe), se elevó de 799.95kgpe a inicios del periodo a 1,488.01 kgpe al final del mismo, esto es, un crecimiento anual promedio sostenido del 1.4% y un crecimiento total del 46.24% (imagen 5).

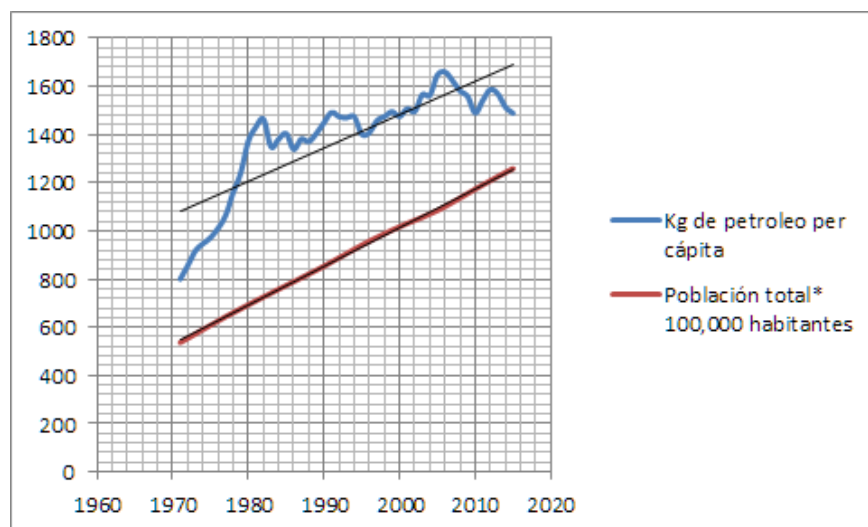


Imagen 5. Crecimiento poblacional, en relación con el crecimiento en generación de energía per cápita en Fuente: Elaboración propia con base en datos recuperados del The World Bank, 2018.

Durante ese período, más de cuarenta años, la mayor parte de la energía del país (88%) provenía de fuentes fósiles, este tipo de energía pasó de 35.4 millones de Tonpe en 1971 a 169.4 millones de Tonpe en 2015, su crecimiento total en dicho período fue 78.89%, lo cual se traduce en un crecimiento sostenido promedio de 3.5% anual. El resto de la energía provenía de fuentes renovables, principalmente energía hidroeléctrica (imagen 6).

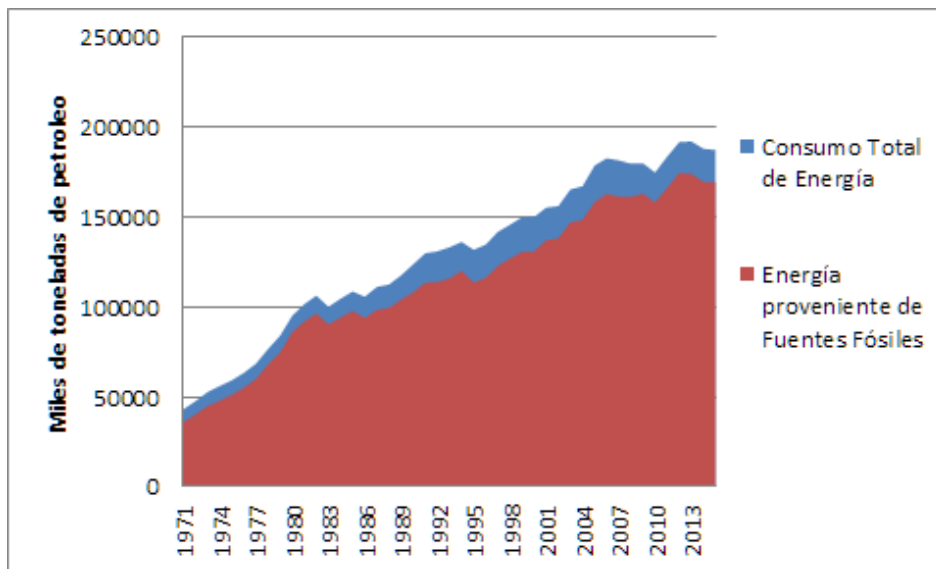


Imagen 6. Generación total de energía y energía proveniente de fuentes fósiles en México de 1971 a 2015.  
Fuente: Elaboración propia con base en datos de The World Bank, 2018.

En cuanto a las emisiones de GEI en México, cifras del Banco Mundial (2018) refieren que presentaron un incremento de 96.8% de 1960 al 2014, debido a fuentes diversas: pasaron de 63,116.4 kilo toneladas (KTon.) de CO<sub>2</sub> eq al inicio del período hasta 488,270.6 KTon al final del periodo, el crecimiento promedio sostenido anual fue de 3.69% (imagen 7).

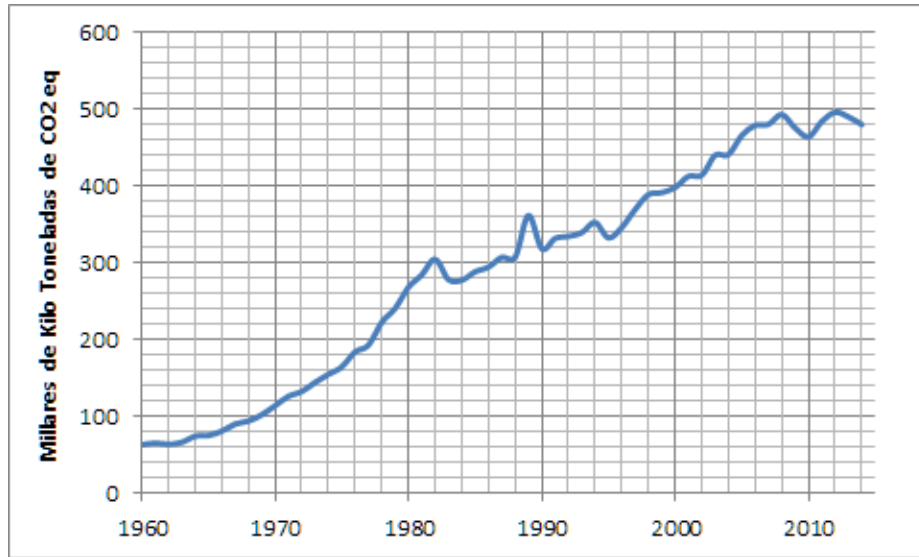


Imagen 7. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por diferentes fuentes en México de 1960 a 2014.

Fuente: Elaboración propia con base en datos recuperados de The World Bank, 2018.

De ese total de emisiones generadas en el periodo, poco más de la tercera parte (en promedio 31.6%) correspondieron al sector transporte, en sus diferentes modalidades, las cuales pasaron de 40,738.04 KTon. de CO<sub>2</sub> eq en 1971 a 168,538.31KTon. en 2014, ello representó un incremento total del 75.82% y una tasa de crecimiento sostenido promedio anual del 3.35% (The World Bank, 2018) (imagen 8).

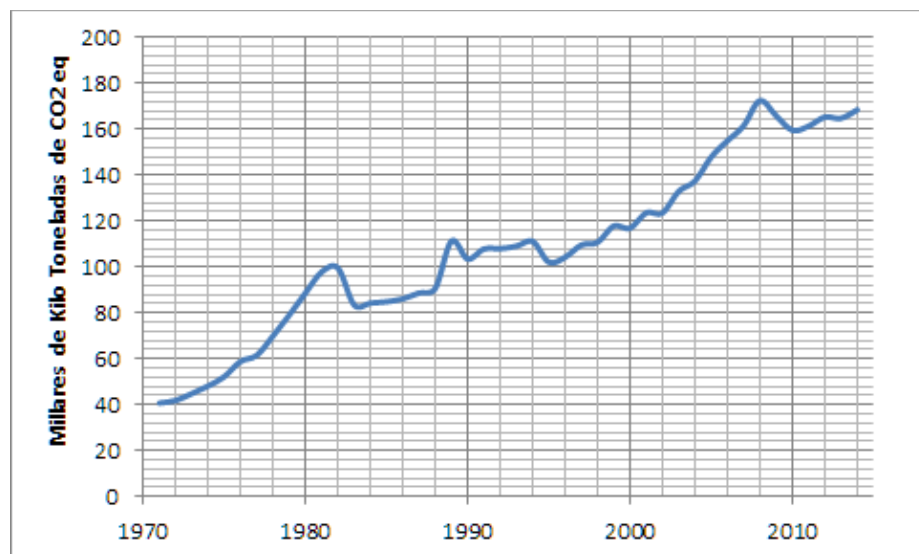


Imagen 8. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del sector Transporte en México de 1971 a 2014.

Elaboración propia con base en datos recuperados de The World Bank, 2018.

De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de GEI 1990-2010, elaborado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), el sector con mayor consumo de combustibles fósiles en México fue el energético, incluido en éste el sector transporte (fuentes móviles), cuya demanda se incrementó en un 74.9% , siendo el transporte privado (automóviles y en menor medida motocicletas) el que ocupó la mayor proporción de la demanda de energía del sector transporte (93%), seguido por el transporte aéreo y ferroviario (INECC, 2013).

El principal carburante utilizado para actividades de transporte de personas y mercancías a través del transporte privado fue la gasolina: 62% del total de combustibles del sector, representando 115,158.7 miles de toneladas de dióxido de carbono equivalentes (CO<sub>2</sub>e).

Según cifras del Sistema Municipal y Estatal de Base de Datos (SIMBAD/INEGI, 2018), los vehículos registrados durante el período comprendido entre los años 1995 y 2015 se incrementaron en un 71.68%, los datos significaron un crecimiento sostenido promedio anual del 6.51%, al pasar de 11,317,646 unidades al inicio del periodo hasta 39,975,998 al final del mismo, el 66.21% de tales vehículos, en promedio, eran vehículos ligeros, similar porcentaje de combustible total fue destinado al sector (imagen 9).

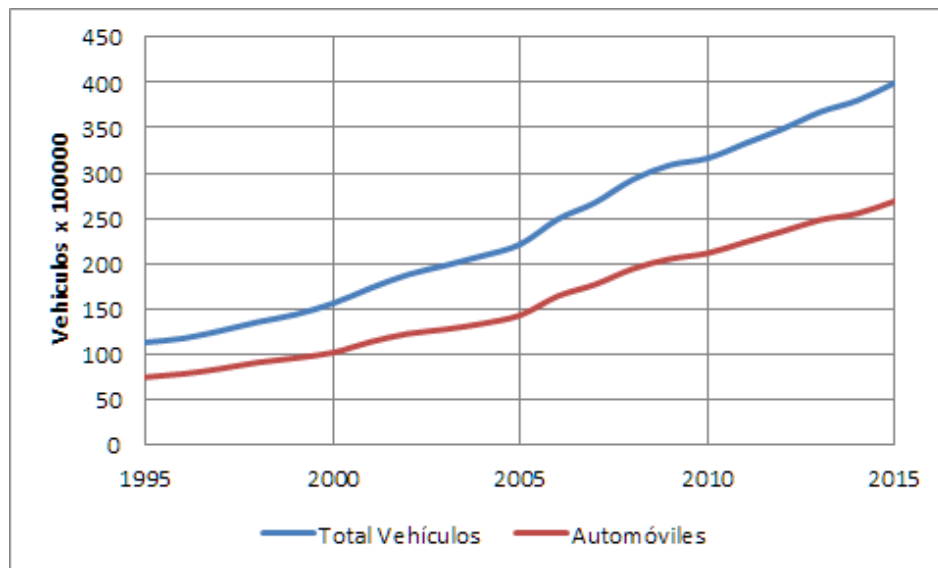


Imagen 9. Vehículos registrados en México en el periodo comprendido de 1995 a 2015.  
Fuente: Elaboración propia con base en datos del Sistema Municipal y Estatal de Base de Datos del INEGI, 2018.

### 2.3.2. Situación del Uso de la Energía y las Emisiones de GEI en Hermosillo, Sonora.

Como han planteado los autores consultados (Aguilar, 1999; Espinoza, 2002), el crecimiento poblacional incide directamente en el incremento en la demanda de transporte de personas y mercancías. Así lo constata el incremento del número de automóviles privados para el transporte de personas presentado en la ciudad de Hermosillo, Sonora, México (cuadro 2).

	Habitantes	Automóviles	Año	Habitantes	Automóviles
1995	555915	59,589	2006	717613	239,022
1996	568940	63,318	2007	733744	263,582
1997	578898	103,643	2008	750236	274,637
1998	589030	94,307	2009	767100	285,218
1999	599339	116,935	2010	784342	292,090
2000	609829	146,414	2011	802247	296,593
2001	627211	183,174	2012	820560	263,679
2002	645089	192,821	2013	839292	273,226
2003	663476	191,222	2014	858451	292,791
2004	682388	214,006	2015	878047	298,373
2005	701838	207,060	2016	N.D.	N.D.

Cuadro 2. Crecimiento poblacional, de automóviles. 1995-2016.

Fuente: Elaboración propia con información del Sistema Municipal de Bases de Datos [INEGI, 2016].

Con base en cifras oficiales, se estima que el índice de motorización en el municipio de Hermosillo se elevó del año 1995 al 2016, al pasar de 107.19 automóviles por cada mil habitantes el primer año a 339.81 el segundo, esto es, un incremento del 217% durante el período, con una tasa de crecimiento anual promedio de 11% (imagen 10).

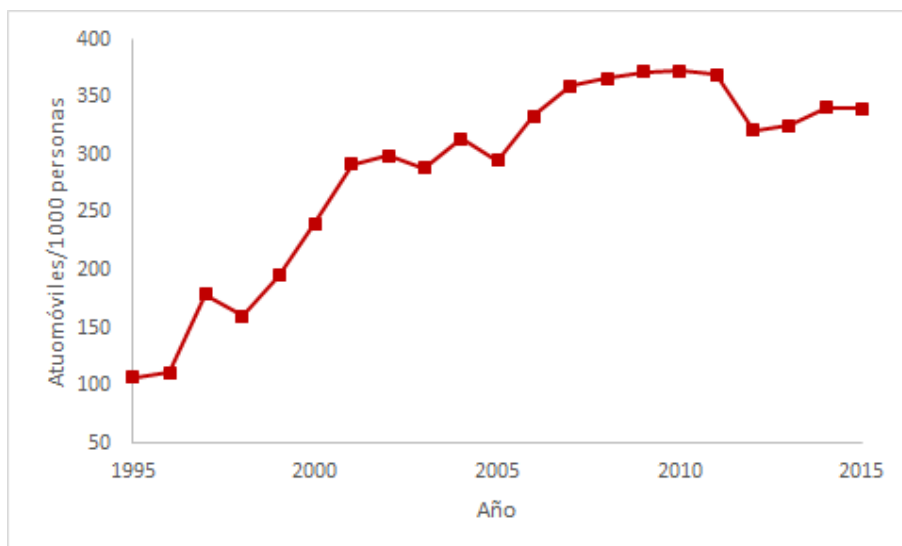


Imagen 10. Hermosillo, Son., 1995-2016. Índice de motorización [automóviles privados] por c/1000 habitantes.

Fuente: Elaboración propia con información del Sistema Municipal de Bases de Datos [INEGI, 2016].

Ahora bien, según cifras del INEGI (2016a), en Sonora, en promedio, cerca del 45% de las familias cuentan con un vehículo privado. En cuanto a ocupación promedio por vehículo, información específica a localidades de zonas metropolitanas, refiere que tal ocupación se ubica entre 1.2 y 1.7 personas (FIMEVIC, n.d.). Asumiendo que tal situación se manifieste en el estado de Sonora, específicamente en la ciudad capital, se tiene entonces que por cada vehículo se transporta una persona y, por tanto, que el resto de la población se traslada ocupando otros medios de transporte, principalmente transporte colectivo.

Por tanto, para fines de esta investigación, se asume que el 55% de la población de Sonora y, particularmente la que reside en la ciudad capital, utiliza transporte colectivo al movilizarse para realizar sus actividades cotidianas (trabajo, escuela, servicios).

Respecto al transporte colectivo, al revisar su situación en ciudades capitales de estados del noroeste del país, con población similar a la de Hermosillo (imagen 11), se observó que la cantidad de transporte colectivo de esta última ciudad es significativamente menor; pareciera entonces que es insuficiente para atender la demanda de transporte de la población de Hermosillo que carece de vehículo para realizar sus actividades (imagen 12).

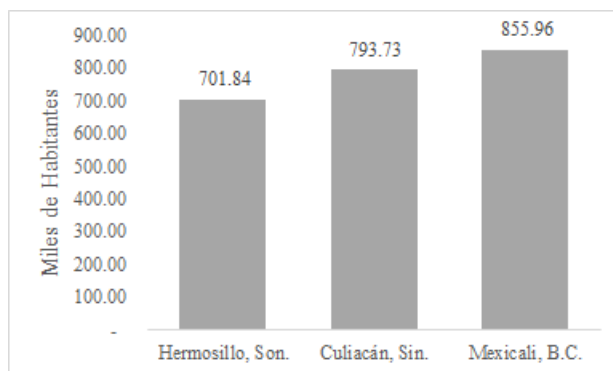


Imagen 11. Población de los municipios de Hermosillo, Mexicali y Culiacán en 2005. Elaboración propia con base en datos del INEGI, 2019.

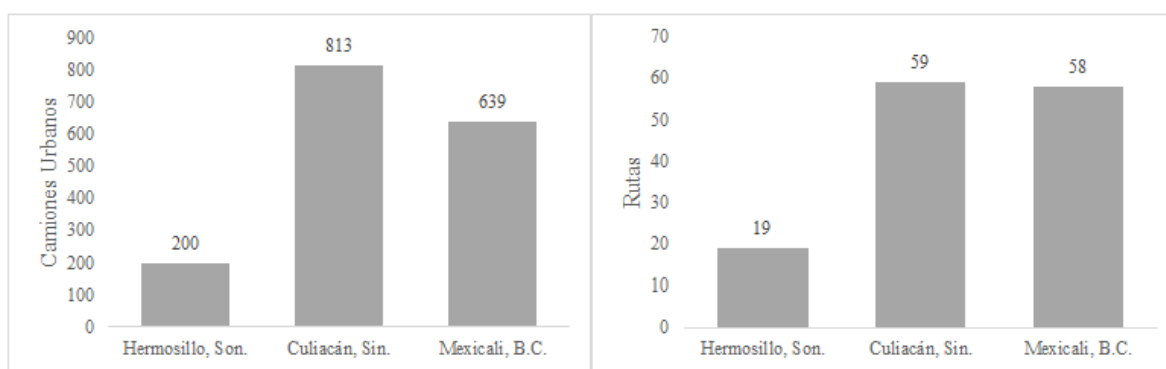


Imagen 12. Rutas de camiones urbanos y número de camiones urbanos en operación, los años 2015-2016 y 2019 en Culiacán, Sinaloa; Mexicali, Baja California; y Hermosillo, Sonora.

Fuente: Elaboración propia con base en información del Portal de Transparencia de los Gobiernos de Sinaloa, Sonora y Baja California (Gobierno del Estado de Sinaloa, 2016; Gobierno del Estado de Baja California, 2015; y UNE Transporte Público, Sonora).

La situación descrita para el municipio de Hermosillo, en relación con el crecimiento urbano, el clima y el sistema de transporte colectivo, sugiere que ha sido necesario incrementar el parque vehicular privado y/o el consumo/gasto de energía para satisfacer la demanda de transporte en dicha localidad, dado que un mismo vehículo sería utilizado para realizar más viajes.

De hecho, cifras proporcionadas por el Sistema de Información Energética de la Secretaría de Energía (SENER, 2017), para el período 2005-2015 dan cuenta de un incremento en las ventas de combustibles generalmente utilizados por el SPMU en el municipio de Hermosillo (imagen 13), proceso que derivó en una variación con tendencia positiva en el gasto monetario para la adquisición de energía asociadas a fuentes móviles (imagen 14). Este incremento en el consumo de energía se atribuye entonces a la necesidad de transporte de personas pero también al incremento

del parque vehicular y al reducido equipamiento para el transporte colectivo, como reflejan los datos publicados respecto del número de autos circulantes registrados de manera formal en el período (INEGI, 2017b).

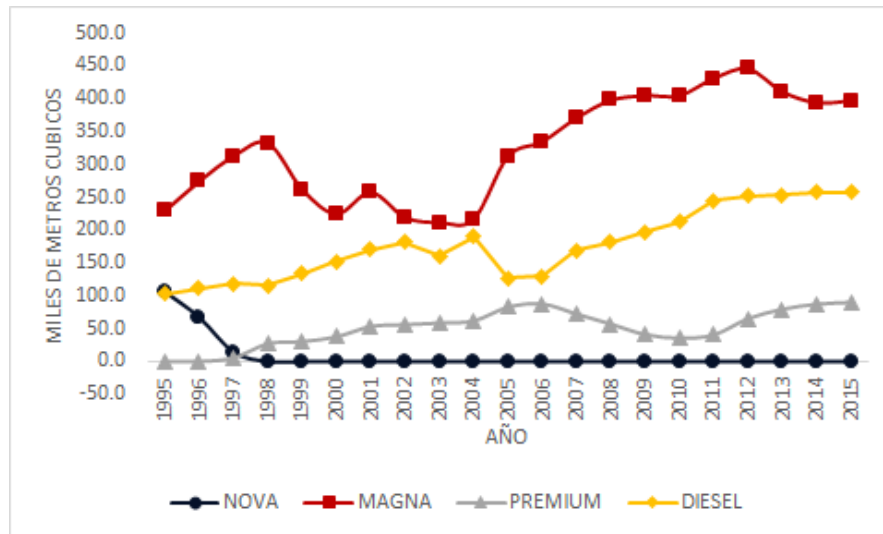


Imagen 13. Variación en el consumo de combustibles, Pemex Magna, Premium, Nova y Diésel en Hermosillo, Son. 1995-2016.

Fuente: Elaboración propia con base en cifras del Sistema de Información Energética de la Secretaría de Energía (SENER, 2017)

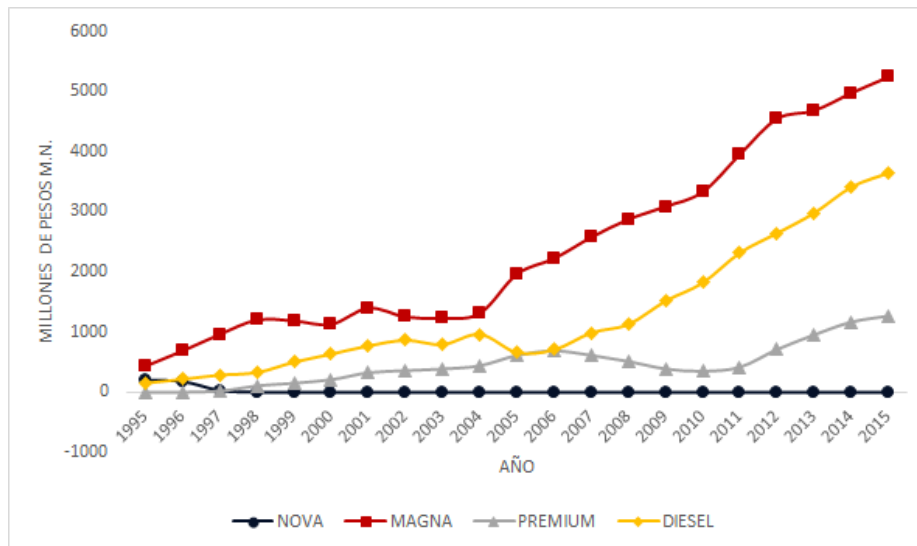


Imagen 14. Variación en gasto monetario [millones de pesos] en combustibles, Pemex Magna, Premium, Nova y Diésel en Hermosillo, Son. 1995-2016.

Fuente: Elaboración propia con base en cifras del Sistema de Información Energética de la Secretaría de Energía (SENER, 2017)



Como parte de las externalidades negativas asociadas al uso del transporte motorizado (ruido, contaminación, impactos a la salud, desarrollo territorial destinado al transporte, crecimiento urbano difuso, entre otras), destacan las correspondientes a las emisiones de carbono (Medina, 2012). En el caso del SPMU del municipio de Hermosillo, Sonora, durante el período 1995-2015, tales emisiones se incrementaron de manera considerable (imagen 15).

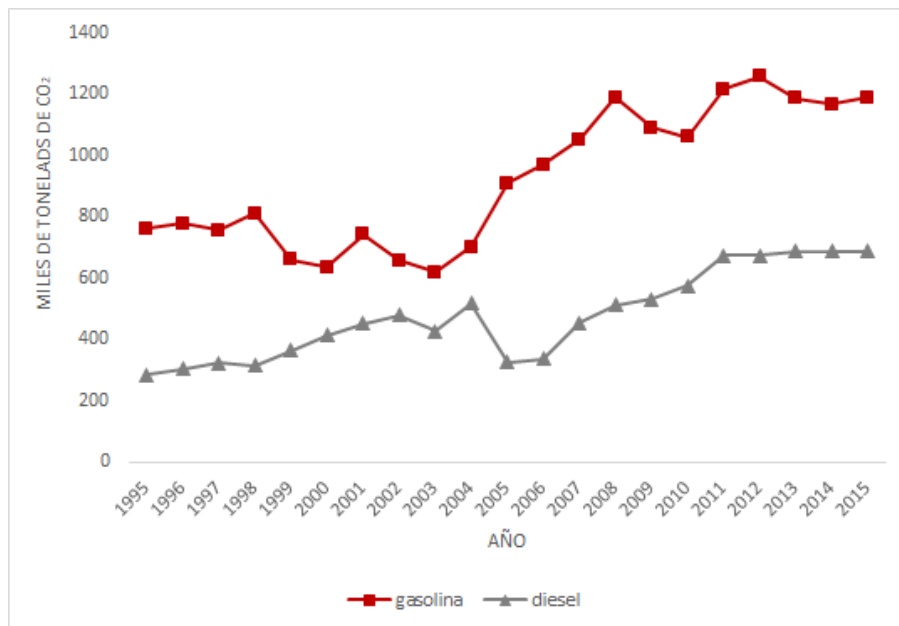


Imagen 15. Variación de emisiones de carbono por el uso de combustibles de los automóviles privados y camiones para transporte colectivo. 1995-2016.

Fuente: Elaboración propia con base en Directrices para la elaboración de inventarios de emisiones de GEI del IPCC, 2.

#### 2.4. Eficiencia del Sistema Privado de Movilidad Urbana (SPMU)

A pesar del incremento en el volumen de emisiones de GEI derivados del uso del transporte, documentado anteriormente, en los últimos años la eficiencia de los automóviles, al menos en los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), ha mejorado, según el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (imagen 16). Así, por ejemplo, mientras en la Unión Europea los vehículos circulantes el año 2011 generaron cerca de 136g CO<sub>2</sub> por kilómetro,

en promedio; en México ese mismo año un vehículo generaba cerca de 170g de CO<sub>2</sub> por kilómetro, también en promedio. Esto se atribuye sobre todo al desarrollo tecnológico (a nivel mecánico y diseño aerodinámico), avance asociado con esa baja de consumo energético (IPCC, 2014a).

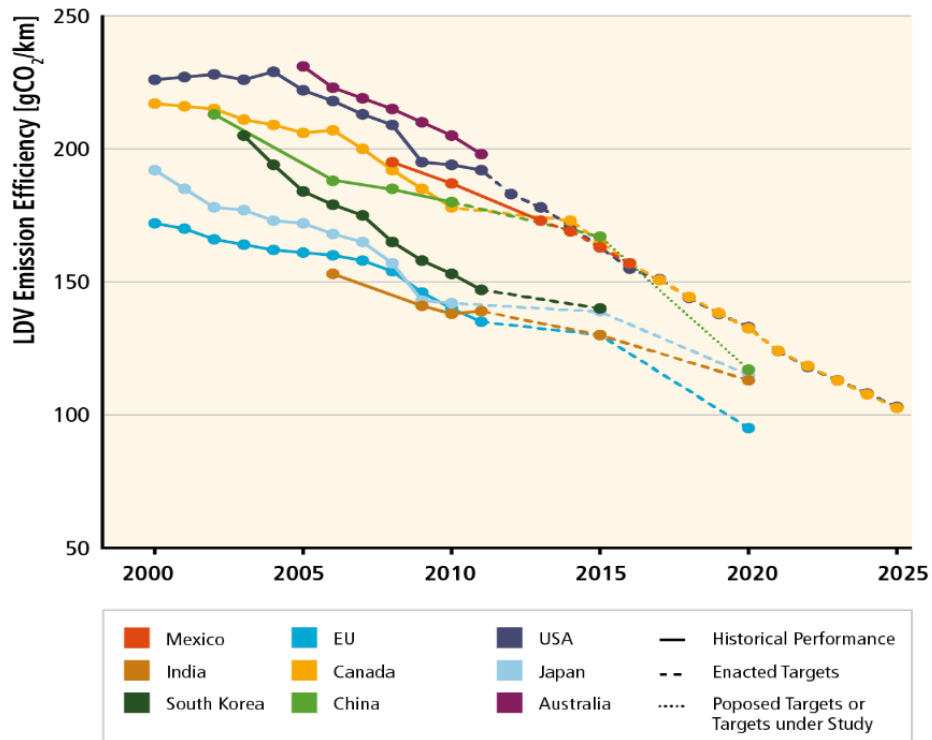


Imagen 16. Eficiencia de emisiones [Gramos de dióxido de carbono por kilómetro recorrido, gCO<sub>2</sub>/km del transporte en países de la OCDE.

Fuente: Retomado de Copyright IPCC, 2014.

Sin embargo, a pesar de las cifras anteriores, al parecer la eficiencia de los automóviles privados respecto a las emisiones de GEI también ha mejorado en México, e incluso se espera que tal eficiencia mejore en poco más del 70% para el año 2050 (IPCC, 2014). Los estudios existentes en esa materia para el municipio de Hermosillo refieren una tendencia similar a la baja en tales emisiones, al pasar de un rendimiento de 500km/ Mw\*hora el año 1997 a casi 900 km/Mw\*hora para el año 2010, en un lapso de trece años se redujeron de 50gCO<sub>2</sub>/km a cerca de 30gCO<sub>2</sub>/km (imagen 17) (Hernández, 2014).

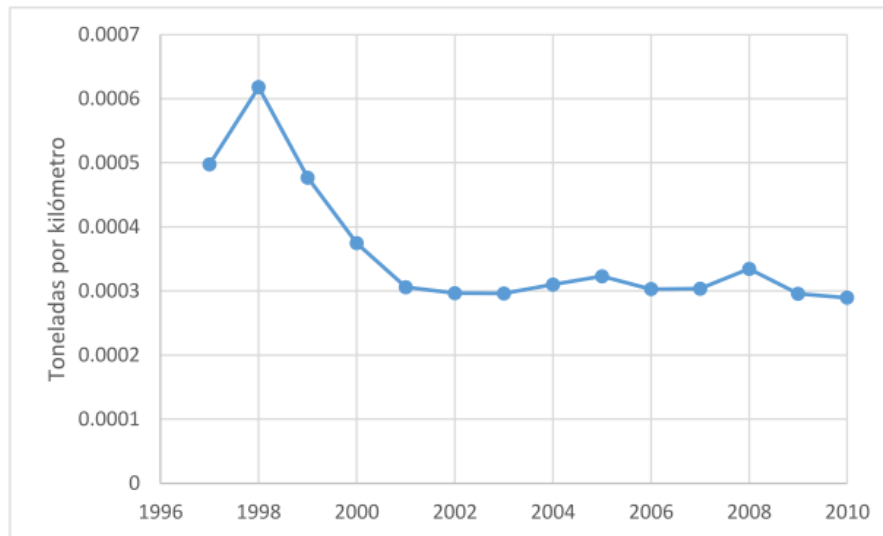


Imagen 17. Eficiencia de emisiones [Toneladas de Carbono por kilómetro recorrido, TCO<sub>2</sub>/km] de los automóviles registrados en Hermosillo, Son. 1995-2010.

Fuente: Recuperado de *Estimación de Indicadores Económicos y Ambientales del Sector Transporte Terrestre Privado de una Localidad Urbana*. (Hernández, 2014).

Ahora bien, como se aprecia en la imagen 15 (Variación de emisiones de carbono por el uso de combustibles de los automóviles privados y camiones para transporte colectivo, 1995-2016) en comparación con las imágenes 16 y 17, los datos referentes a la eficiencia no son concordantes. Al parecer el problema radica en una discrepancia metodológica que atañe a los indicadores o mediciones utilizados al respecto, que tienen que ver con la eficiencia y el rendimiento. Veamos. En física, el término *eficiencia* se entiende como la relación entre la energía invertida y la aprovechada en un sistema -cuantificada a través del trabajo obtenido- (Incropera et al., 1993), es decir, un sistema se considera de alta eficiencia cuando ocupa un gran porcentaje de la energía que se le suministra; mientras que rendimiento se entiende como la calidad y la cantidad de trabajo obtenido por unidad de energía suministrada en un sistema cualquiera (Moran & Shapiro, 2004). Por tanto, se puede argumentar que ambos conceptos incluyen la cantidad de energía que no es aprovechada, pero también es claro que el concepto rendimiento amplía su definición a los resultados generados por el aprovechamiento de la energía. Es decir, ambos conceptos incluyen el aprovechamiento de la energía dentro de su definición, pero el de rendimiento incorpora además la dirección del flujo y la calidad de la energía no aprovechada. Esta cualidad del término rendimiento es la que faculta su utilización para determinar, teóricamente, el impacto que tiene la energía referida, en el sistema que es objeto de investigación. De ello derivan los cuestionamientos que dan

pauta al presente estudio: ¿Cómo puede medirse el rendimiento ambiental del SPMU? y ¿Cuál ha sido el comportamiento del rendimiento ambiental del SPMU en Hermosillo, Sonora?

Para dar respuesta a estas interrogantes, con base en los referentes contextuales previos, se reconfiguran los planteamientos en la pregunta de investigación, objetivos e hipótesis siguientes.

## 2.5. Pregunta de Investigación

¿Cuál ha sido el rendimiento ambiental del SPMU en Hermosillo, Sonora, México, entre los años 2005-2015?

## 2.6. Objetivo General

Construir un Índice que evalúe el rendimiento de un sistema de la biósfera a partir de cambios de energía valorados con base en sus interacciones con sistemas adyacentes, aplicable al SPMU de Hermosillo, Sonora, México, del 2005 al 2015.

## 2.7. Objetivos Específicos

1. Determinar los flujos de materia y energía entre el sistema privado de movilidad urbana y los sistemas adyacentes en su medio ambiente.
2. Interiorizar el costo de las emisiones de GEI en el balance de materia y energía derivado de la relación entre el SPMU y los sistemas adyacentes en su medio ambiente.
3. Medir el Rendimiento Ambiental del SPMU en Hermosillo, Sonora entre el año 2005 y 2015.

El objetivo general de la presente investigación, parte del supuesto teórico que afirma que: *El rendimiento ambiental de los sistemas de la biósfera es determinado por el cambio de energía en*

*el sistema que se pretende estudiar y la valoración de la energía disipada en los sistemas adyacentes con los que interacciona el sistema de estudio.* En este caso, entendemos como el cambio de energía en el sistema al proceso que se genera de manera interna derivado las alteraciones en los factores ambientales tanto del sistema en cuestión como de los sistemas adyacentes; mientras que la energía disipada en sistemas adyacentes se entiende como “la energía que el sistema cede a otros sistemas, derivada de los cambios internos”, lo cual se configura como una hipótesis de trabajo, que se presenta a continuación

## 2.8. Hipótesis

El Rendimiento Ambiental del SPMU es dado por el cambio de energía en el sistema y la valoración de la energía disipada en sistemas adyacentes.

Para probar esta hipótesis y responder los objetivos planteados, se presentan el enfoque teórico y los principales conceptos que sustentan el estudio.

El análisis se orienta por el llamado enfoque ecointegrador (Naredo, 2003), el cual se decanta por una perspectiva sistémica. Su origen, desarrollo y principales planteamientos en el campo económico, entre otros, se aborda en el siguiente capítulo.

### 3. LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL EN EL PENSAMIENTO ECONÓMICO: ORIGEN Y DESARROLLO.

En la configuración de la hipótesis de este trabajo, destacan los conceptos: *Externalidad del sistema económico* y su relación con el *deterioro ambiental*. Por tanto, en este capítulo se define qué se entiende por *medio ambiente*, *cuáles sistemas lo conforman* y *cómo se configuran los flujos de energía que se presentan entre ellos*. El énfasis se coloca en los factores que propician un deterioro ambiental que se manifiesta en problemas sociales, fenómeno denominado en esta investigación como *Problemática Ambiental Humana (PAH)*.

La PAC y, en consecuencia, sus expresiones locales, tiene su origen en el modelo de desarrollo económico industrial (Gutman, 1986; Herman, D., 1991; Muñoz Pradas, 1995; Naredo, J. M., 1987), y adquiere particularidades específicas, según sea la evolución socio-económica y condiciones ambientales del territorio en el cual tienen lugar.

Ahora bien, cuando se pretende analizar desde la ciencia económica esas expresiones locales que asume la PAC, emergen una serie de dificultades epistemológicas y estudios limitados de esos fenómenos y procesos económicos, debido a la exclusión inicial que hizo la ciencia económica ortodoxa de los problemas de índole ambiental. No obstante esas dificultades y diagnósticos inexactos, las directrices epistémicas que les dieron lugar fueron impuestas y adoptadas por la mayor parte de los países y organismos internacionales, alcanzando incluso el carácter de postulados hegemónicos para el desarrollo económico y social. Para explicar esto con mayor detalle es necesario analizar cómo ha evolucionado la ciencia económica y sus principales planteamientos teóricos, sobre todo aquéllos que fueron retomados para configurar la estructura de desarrollo causante del deterioro ambiental.

En esa línea de investigación, Naredo (1987) señala que, hasta hoy, el bagaje teórico de la llamada economía ortodoxa, convencional o estándar (como le llama al pensamiento económico predominante), ha sido incapaz de estudiar el origen y desarrollo de la problemática ambiental contemporánea (PAC), particularmente su relación con las actividades y procesos económicos. Según dicho autor, pareciera que las propuestas y modelos analíticos de la economía ortodoxa estuvieran más enfocados en encubrir, invisibilizar o hacer abstracción de la PAC y de su origen; debido a que la economía neoclásica ha privilegiado el estudio del mercado sin atender el cómo se sustentan los procesos productivos que hacen posible determinado esquema de intercambio de

bienes y mercancías, es decir, esos procesos biofísicos que sustentan la materia prima con la que funciona el sistema económico. Si bien los economistas neoclásicos aceptan de origen que la degradación de los recursos naturales conllevan escasez, carecen de método para valorar esos bienes y servicios ambientales, incluso obvian en sus análisis el cómo estos o cualquier otro recurso económico escaso pueden ser gestionados (Chang, 2005). Ese desarrollo analítico de la ciencia económica convencional propicia una desconexión entre... *“el pensamiento económico y el mundo físico...”*, precisamente por el rompimiento epistemológico que propició el predominio del enfoque mecanicista y el estudio exclusivo de... *“aquellos objetos que se consideraban directamente útiles para el hombre en sus actividades e industrias”*. Esta lógica analítica llevó a que los planteamientos de los economistas clásicos, centrados en el campo de la producción y el crecimiento, migrasen al campo del valor, sus análisis se centraron en sólo aquellos objetos de la naturaleza que pudieran ser apropiables, producibles y valorables, dejando fuera todos los demás factores carentes de dichos atributos, por ejemplo lo ambiental, lo cultural, ético y lo estético de las cosas (Naredo, 2002).

Esa óptica reduccionista de la ciencia económica que excluye de su objeto de estudio factores carentes de valor pecuniario, ha incidido en el análisis de las distintas expresiones locales que asume la PAC. Si bien se reconoce su existencia, deja fuera de los balances económicos los bienes o recursos naturales carentes de valor, quedan en el polo de las externalidades. Los planteamientos hechos desde la economía ambiental, la economía ecológica o la economía institucional, entre otras corrientes económicas alternativas, tratan de subsanar esas limitaciones del pensamiento económico convencional, ya sea a través de integrar las llamadas externalidades al sistema económico, o bien asumiendo la complejidad del sistema, sin externalidades, con entradas y salidas, pérdidas y retornos, otros intentan conciliar el mundo físico con el pensamiento económico y la necesidad de la valorización monetaria respetando los principios ecológicos del mundo físico. A continuación, los desarrollos teóricos más representativos que han incorporado al análisis del sistema económico lo ambiental (externalidades). Primero los antecedentes de la Economía estándar y el cómo se afianza como paradigma económico dominante, después el pensamiento y enfoques económicos desplegados en ese afán de interiorizar la problemática ambiental, unos adoptando el mismo esquema analítico de la economía estándar y otros desde una perspectiva sistémica, holística y multidisciplinaria.

### 3.1. De la Economía Clásica a la Economía Ambiental

De acuerdo con Naredo, J.,(2002), durante el siglo XVIII los economistas franceses de la época, llamados “*fisiócratas*”, plantearon un modelo económico que dio paso a la consolidación de la economía como una disciplina, al proponer la *noción de producción* como el centro de dicha disciplina, con base en una visión *organicista* que “...veía sujetos a procesos de generación y crecimiento no solo animales y plantas sino también a los minerales”, es decir, se busca la regeneración de los factores de producción, tanto renovales (animales y plantas), como no renovales, entre los que destacaban los bienes minerales que se obtenían a partir de procesos extractivos y no de producción *per sé*.

*...La economía se afianzo como disciplina asumiendo la tarea de promover ese crecimiento de las riquezas generadas por la madre tierra (Naredo, 2002: 3).*

A lo cual se postula como “...acrecentar las riquezas renacientes, sin menoscabo de los bienes fondo” (Quesnay, 1785, citado por Naredo, 2002). El mismo autor precisa que el hecho de “producir” no implica únicamente generar riqueza a partir de la extracción o la producción de bienes (con la finalidad de “revender con beneficio”), sino llevar a cabo procesos que permitan a los medios de producción regenerarse de manera tal, que la operación pueda continuar de manera sostenible; para los llamados fisiócratas, los procesos económicos y por ende el crecimiento económico, debería ser equivalente al crecimiento de los “bienes fondo”, es decir un crecimiento acorde al mundo físico de los recursos que soportaban al sistema económico.

Los denominados “*Economistas clásicos*” trasladaron más adelante el objeto de estudio de la economía desde la producción y el crecimiento hacia el campo del valor y de los bienes pecuniarios. Ese desplazamiento es lo que genera el rompimiento entre esta disciplina y el mundo físico que soporta todas las actividades y procesos que son materia de su investigación. Ello da pie a lo que se conoce como economías externas, aquellas partes del mundo físico que dan soporte al sistema económico, o generadas por el sistema económico, pero que son carentes de propiedad o valor mercantil:

*... “Así, el predominio del enfoque mecánico y causal redujo el campo de estudio de la economía sólo a aquellos objetos que se consideraban directamente útiles para el hombre en sus actividades e industrias” (Naredo, 2002:5).*



Empero, fueron los mismos teóricos clásicos como Thomas Malthus, con la teoría de la dinámica demográfica o David Ricardo con la teoría de rendimientos decrecientes, los que llevaron a los economistas a aceptar que la naturaleza terminaría frenando el crecimiento económico, es decir a un estado estacionario, a pesar de buscar obtener el máximo beneficio de los factores de producción. Posteriormente, a fines del siglo XIX y principios del XX, surge una nueva corriente de pensamiento económico que retomó el pensamiento de los economistas clásicos, los denominados “*Economistas Neoclásicos*”. Estos nuevos economistas afianzaron la idea de que serían las leyes económicas, como el valor de competencia, la oferta y la demanda, las que regularían el mercado y sostendrían su crecimiento, se centran en la idea de la racionalidad y la libertad humana para la toma de decisiones y dejan de lado la idea de que se podría llegar a un estado estacionario de nulo crecimiento (Naredo, 2002).

Con el paso del tiempo, han sido aspectos externos a esa lógica del pensamiento económico estándar, conocidos como externalidades, los que empezaron a desencadenar una serie de argumentaciones sobre los impactos sociales y de tipo ecológico-ambiental vinculados al sistema económico. A continuación, un acercamiento al concepto de externalidades y el cómo se ha dado su interiorización en algunos enfoques de la ciencia económica.

### **3.1.1. El concepto de la Externalidad del Sistema Económico**

Mishan (1971) y Aguilera Klink y Alcántara (1994), entre otros, plantean la existencia de factores económicos responsables del deterioro ambiental, considerados como “*deseconomías externas*” o bien como externalidades del sistema económico. Según Huesca y López (2011), citando a Vázquez V., (2014), el origen de las externalidades “...radica en el deterioro...de los recursos naturales, al prescindir un marco institucional y delimitación de los derechos de propiedad”. Se trata entonces de aquellas afectaciones de tipo ambiental (ruido, contaminación atmosférica, emisiones de gases de efecto invernadero, aguas residuales, entre otras) que son generadas por actividades económicas desarrolladas en un lugar dado y que, al carecer de un dueño o de un valor monetario asociado con el término “derechos de propiedad”, quedan fuera del sistema económico. Por otra parte, Andrade (2006), citando a Baumol (1993), define una externalidad como cualquier

efecto externo a un proceso, propio de una actividad económica o de consumo “... *que incluyen variables reales, que no son monetarias, y que afecta el nivel de bienestar de terceros*”. El autor distingue externalidades negativas y positivas, presenta como ejemplo de las primeras el caso de una industria que genera residuos sólidos que contaminan el suelo agrícola, tales residuos son esas externalidades negativas porque afectan los niveles de producción del agricultor que hace uso del suelo contaminado.

El mismo autor identifica cuatro tipos de externalidades negativas: 1) Externalidades de productor a productor, 2) Externalidades de Consumidor a Productor, 3) Externalidades de productor a consumidor, y 4) Externalidades de Consumidor a Consumidor.

Define las externalidades Productor-productor, como aquéllas que se generan cuando existe una relación de dependencia entre una firma A y otra firma B, donde las actividades propias de A, reducen el nivel de bienestar de B, o viceversa, retoma como ejemplo el caso de contaminación de suelos por residuos sólidos que citó previamente (Andrade, 2006). Identifica como externalidades consumidor-productor, las generadas por las actividades de consumo de los consumidores que afectan, directa o indirectamente, a los productores, y plantea como ejemplo la aglomeración de personas en la entrada de un cine (Andrade, 2006). Las externalidades productor-consumidor, se presentan cuando las actividades de producción afectan directamente el bienestar de los consumidores, por ejemplo, cuando la industria energética transforma energía fósil (carbón, combustóleo, gasolina, etc.), y en tal proceso genera una amplia de contaminantes atmosféricos (aerosoles, partículas, entre otros) que impactan directamente el bienestar de los consumidores (consumidores de energía eléctrica) o a los habitantes de zonas aledañas. Finalmente, en las externalidades consumidor-consumidor, refiere, como ejemplo, el incremento de los precios de bienes y servicios que se dan por las compras de pánico en situaciones de contingencia, donde los que cuentan con una mayor capacidad adquisitiva acaparan las mercancías, causando un incremento en su valor monetario debido a la escasez, situación que repercute en la población con poder adquisitivo más bajo o limitado.

Otro ejemplo de externalidades negativas de este último tipo, consumidor-consumidor, tiene que ver con el consumo de gasolina para el transporte de personas, la actividad energética del parque vehicular genera una serie de emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero, así como otro tipo de partículas aerosoles, que inciden de manera negativa en la población porque afectan la calidad del aire que respiran, incluso su salud. Es este tipo de externalidad la que interesa explorar

en este documento, por ser la que se pretende internalizar al hacer la valoración integral del rendimiento del SPMU.

Andrade (2006) complementa tal distinción de externalidades negativas con una clasificación de las mismas en *Tecnológicas* y *Pecuniarias*. Las primeras refieren precisamente al cambio tecnológico (*...cuando la función de producción del productor o la función de utilidad del consumidor afectado se altera*), inciden directa y negativamente en los costes de producción y de consumo; y las segundas, externalidades pecuniarias, a los “*cambios en el nivel de la demanda*”, el autor utiliza en este caso como ejemplo el aumento de la demanda de azúcar, cuando dicho proceso incide directamente en el incremento de la demanda de maquinaria agrícola, semillas y plantas procesadoras. Aquí importa precisar, como señala Andrade (2006), que ambas externalidades (tecnológicas y pecuniarias) son únicamente transferencias de un sector a otro (productor-consumidor o productor-productor) que derivan en “*... cambios en los precios relativos*”.

Andrade (2006) también refiere externalidades con efectos positivos, transferidos a terceros y precisa que éstas se manifiestan en dos formas: *positivas al consumo o positivas en la producción*. Las primeras, cuando la adquisición de un bien o servicio transfiere un efecto positivo a un tercero, por ejemplo, la adquisición de un sistema de tratamiento de aguas residuales por una comunidad que incrementa el nivel de bienestar en la comunidad que adquiere la tecnología, pero también beneficia a las comunidades vecinas al eliminarse los malos olores o la dispersión aérea de contaminantes, que pudiera darse por un mal tratamiento de aguas residuales. Mientras que la *externalidad positiva en la producción* se presenta cuando la actividad productiva beneficia directamente a procesos secundarios, por ejemplo, la generación de estiércol en la industria ganadera, gestionada correctamente, mejora la calidad de los suelos y beneficia a los productores agrícolas.

### **3.1.2. Naturaleza del Problema y Asignación de Costos a las Externalidades**

Entre las propuestas metodológicas para la resolución del problema de las externalidades, existen soluciones propuestas desde la economía ambiental que implican asignar valor a las externalidades

mediante mecanismos estrictamente económicos.

Para introducirse en la asignación de costos a las externalidades, es necesario definir los conceptos: *Incremento Marginal*, *Producto Neto Marginal Social y Privado* y *Costo Marginal Social y Privado*, con base en los fundamentos teóricos de Pigou, retomados por Aguilera K. & Alcántara (1994<sup>a</sup>):

- a. “*Incremento Marginal*” consiste en agregar una unidad más, “*desde afuera*”, a un factor de producción, los demás factores de producción permanecen constantes, lo cual genera un producto marginal.
- b. La unidad marginal resulta ser cualquier unidad, de un conjunto de unidades iguales, que conforman el incremento que se dividirá en cada una de las unidades, sin embargo, es la que ocupa un lugar “situado al margen”. Esto es ejemplificado por Pigou (1920), citado por Aguilera, K. & Alcántara (1994), de la manera siguiente “...Retirar a un trabajador que atiende a una maquina nueva o trabaja en una tarea fácil, sin hacer nada más, afectaría la producción total más seriamente que si se retirase a otro obrero que se ocupa de una maquina anticuada o trabaja en una tarea difícil (Pigou, 1920).
- c. El producto neto marginal social lo definen como “... *el producto neto total de las cosas físicas o de los servicios objetivos* (entiéndase esto como servicios ambientales y/o sociales) *debido al incremento marginal de los recursos invertidos en un empleo o lugar dados*”, es decir, el incremento del coste social (ej. Contaminación) derivado del incremento marginal, que puede dar lugar a Economías Externas (Aguilera K. & Alcántara, 1994<sup>a</sup>).
- d. Y el “*Producto Neto Marginal Privado*”, como “... *aquella parte del producto neto total de las cosas físicas o servicios objetivos, debido al incremento marginal de los recursos operado en todo empleo o lugar dados*”, esto es, el producto físico derivado del incremento marginal en uno de los factores productivos. Un ejemplo es el caso de una firma que tiene factores de producción destinados a elaborar 100 unidades en un año, el producto marginal neto privado, sería el derivado del incremento marginal en uno de los factores productivos, que resultaría en la unidad 100+1 (Aguilera K. & Alcántara, 1994<sup>a</sup>).

Por lo tanto el “*valor*” del producto neto marginal privado, como el social, resultan en la suma de los costos de los factores productivos en el mercado (Aguilera K. & Alcántara, 1994a). De acuerdo con la literatura, existen una serie de divergencias entre el producto neto marginal privado y social, donde en situaciones el producto marginal neto social supera al privado y viceversa, las cuales los

autores citados explican con ejemplos sencillos, retomando el caso del propietario de la tierra y el arrendatario, donde persiste la divergencia cuando el arrendador entrega la tierra al propietario en un estado de degradación mayor que cuando le fue entregado, al cancelarse el contrato por lo que el arrendatario deberá indemnizar al propietario por los daños causados; o de manera contraria, cuando el arrendatario introduce mejoras a la tierra, debido a la situación en que ésta fue recibida, por lo cual el propietario se verá en la obligación de indemnizar al arrendatario. De igual manera cita muchos otros casos y ejemplos de leyes y regulaciones para la indemnización de unos u otros. En este punto, es importante destacar que las divergencias entre ambos productos netos marginales, de acuerdo con la literatura, son mitigadas a través de imposiciones y gravámenes regulados en las legislaciones. Ejemplo de esto es el caso de la industria cervecera, donde el producto neto marginal privado es significativamente mayor al social, por lo cual en casi todos los países se imponen impuestos especiales a tales industrias (Aguilera K. & Alcántara, 1994a).

Otro ejemplo son los impuestos ambientales. Según Huesca & López (2016), a partir de los años 80's algunos países crearon impuestos como "*herramienta para resolver el desempleo y reducir los perjuicios de la capa de ozono*". En México, debido a la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEGEPA), sólo se aplicaron incentivos fiscales a las industrias que utilizan *tecnología más amigable con el ambiente*, además de algunos impuestos relativos al medio ambiente, como el Impuesto Especial sobre la Producción y Servicios y el Impuesto a combustibles fósiles, cuya finalidad es subsanar las afectaciones negativas de las ya mencionadas "*economías externas*" generadas por las diferencias entre producto neto marginal privado y social (Huesca R. & López M., 2011)

Ejemplos como este y el anterior son acercamientos a lo que Huesca R. & López M., (2011), refieren como "*Impuestos Pigouvianos*" que operan bajo la premisa de que "*él que contamina paga*", esto implica que el *agente contaminador* (producto marginal neto privado) deberá pagar por los *impactos y perjuicios al medio ambiente o bienestar social* (producto marginal neto social).

### **3.1.3. Naturaleza del Problema**

Como se ha descrito en apartado previo, han sido las divergencias entre costo neto marginal privado

y social, o lo que más reciente han sido llamadas externalidades o economías externas, las que han derivado en “*un problema de naturaleza recíproca*”, en palabras de Coase (1960), citado por Aguilera & Alcántara (1994).

El término acuñado por Coase (1960) “*Problema de naturaleza recíproca*” refiere a cómo asignar alguna responsabilidad, cuando un Sujeto “A”, mediante sus actividades, daña las actividades de un Sujeto “B”, siendo que si B, renuncia a sus actividades, A se vería beneficiado, pero A tendría que subsanar las pérdidas de B, o viceversa, que A renuncie a sus actividades, mientras que B subsana las pérdidas de éste.

En todo caso, el problema de naturaleza recíproca va mucho más allá de lo hasta aquí indicado. Para abundar en ello, Coase, (1960), citado por Aguilera, K., & Alcántara, (1994), acude a una serie de ejemplos, entre ellos el caso del Labrador y el Ganadero, más o menos en los términos siguientes. El labrador produce X volumen de producto en Y hectáreas de tierra, sin embargo, el Ganadero tiene un rebaño de X cabezas, para llegar al área donde se dispondrán a pastar tales cabezas tiene que atravesar las tierras del labrador, dañando la cosecha. En este caso, a simple vista, el ganadero tendría que ser responsable, de cercar el predio donde tiene a su ganado, lo que naturalmente aumentaría sus costos; si el incremento marginal de los costos para cercar el predio, resulta mayor que las pérdidas del labrador por el paso del ganado, el ganadero preferiría pagar al labrador el costo de la cosecha perdida en precios de mercado. Sin embargo, si el ganadero deseara aumentar su ganado en  $n+1$ , el precio (incremento marginal neto privado) el precio de incrementar el ganado aumentaría el pago por indemnización (incremento marginal neto social) al labrador ya que las pérdidas de este serían aún mayores, por lo que el costo marginal de incrementar en  $n+1$  el hato ganadero, deberá incluir, el proporcional al pago del labrador por las pérdidas. En el caso hipotético, en el que el incremento de número de cabezas en el hato ganadero resultase en un mayor beneficio económico, aun si se incluyeren los costos sociales de dicho incremento, este de manera racional, accedería a pagar al labrador para que este decline a seguir sembrando, sin embargo el labrador, accedería por una indemnización mayor al costo de su cosecha, debido a los costos por trasladar sus actividades (Aguilera K. & Alcántara, 1994b). Otro caso sería si el labrador indemnizará al ganadero por el hecho de evitar incrementar el hato ganadero, por lo cual tendría que indemnizarlo por el costo marginal de incrementar en  $n+1$  el hato, o de otra manera indemnizarlo por el costo que implica instalar una cerca en el predio donde se encuentra el ganado (Aguilera K. & Alcántara, 1994b).

...” *Cuando se tienen en cuenta los costes que entrañan las transacciones en el mercado, queda claro que esa reordenación de derechos sólo se emprenderá cuando el aumento del valor de producción derivado de la reordenación es mayor que los costes que la misma entrañaría (Coase, 1960: The Journal of Law and Economics, 3, y posteriormente en Hacienda Pública Española n°68 [1981]).*

En el planteamiento hipotético anterior, la respuesta de quién pagará a quien, depende de la posición de cada cual. El problema de la reciprocidad puede escalar aún más, si la situación de pago por indemnización a cualquiera de las partes, consiste en un pago por un bien, muchas veces intangible, que pertenece a una economía externa, y según el derecho de propiedad de éste.

En los casos descritos en la literatura citada, Coase toma una postura fuertemente economicista y plantea que la asignación de derechos para que un agente (A), afecte las actividades de otro agente (B), no depende del perjuicio que genere cualquiera de los agentes, sino de decidir la ganancia que puede generar la producción, evitando el posible perjuicio de un agente a otro, se trata de decidir si tal perjuicio es mayor o menor que la ganancia de la producción cuando se integran los costos por la reparación del daño, y es solo ahí cuando se adjudica el derecho a una u otra parte, para continuar o suprimir las actividades (Aguilera K. & Alcántara, 1994b).

Estos planteamientos denotan un rompimiento con las propuestas de Pigou, para quien el que genera el perjuicio debe subsanar el daño, lo cual debería ser reglamentado por el Estado. Coase, por su parte, considera que existe un problema de naturaleza recíproco, dado que depende de la situación y posición de los agentes la decisión de continuar con una actividad o no, plantea que el Estado no debe influir en el flujo natural de los procesos económicos porque de hacerlo sólo entorpecería el proceso.

Hasta este punto, las soluciones que dan tanto Pigou como Coase, al perjuicio generado por una actividad económica, sólo sugieren asignarle a tal perjuicio un valor , “desde afuera”; ambos autores consideran factores o variables –perjuicios- posibles de valorizar, por ejemplo, la reducción o el incremento de la producción y la variación en la ganancia; sin embargo, ninguno brinda una respuesta a la problemática de externalidades sin afectar la producción de manera puntual y localizada (p.ej. el caso de los efluentes de aguas residuales que impactan directamente un área determinada o un cuerpo de agua específico).

Tal problemática también se expresa al analizar el cambio climático y el calentamiento global en relación con las emisiones de GEI de una organización, sus actividades o procesos contaminantes

quizá no afecten directamente al entorno más cercano, sino que se manifiesten en una escala global, no obstante, es posible atribuir a dicha organización un porcentaje del decremento de la calidad ambiental a causa de su afectación al cambio climático al generar determinadas emisiones de GEI. Cómo valorar esta participación es la cuestión a precisar por los principales enfoques que ofrece la ciencia económica al respecto.

### 3.2. De la Economía Ambiental a la Economía Ecológica

Sin duda la preocupación global por reducir los impactos negativos del sistema económico predominante, aunado al interés científico por integrar en la ecuación económica variables del entorno que brinden una respuesta integral a la problemática ambiental contemporánea, ha llevado a los economistas a... *“desarrollar modelos e instrumentos de política económica”* para asignar un valor monetario a las externalidades del sistema, sea la contaminación atmosférica, del agua, la erosión del suelo, u otras. Esta situación viene a representar, según Foladori (2001), *“...otro indicador de como la economía neoclásica keynesiana está reconociendo la limitación del mercado para asignar determinados recursos”*. Recordemos que la escuela de la economía neoclásica, al igual que la keynesiana, considera a la economía como la *asignación de recursos escasos*, asignación que se realiza en un mercado que es regulado por *la mano invisible* y en el cual se supone que participan personas actuando racionalmente, para satisfacer sus necesidades de manera óptima y eficiente. Esta argumentación económica obvia la subjetividad inherente que caracteriza a los actores sociales, relegan este supuesto a su aplicación teórica, lejos de la realidad y práctica (Foladori, 2001). Igual se excluye del análisis económico estándar, todo lo que no se inserta de manera tácita en su universo económico, los *polos extremos* del sistema *“...depredación y contaminación”* (Foladori, 2001).

Para integrar esos polos extremos –precisa el mismo autor-, los economistas ambientales retoman algunos planteamientos de Coase y Pigou en el sentido de implementar políticas y mecanismos que permitan afrontar tales problemas, por ejemplo, a través de la creación de instrumentos de mercado que otorguen un valor monetario (precio) al medio físico, lo cual podría incluirse en el análisis económico. Se trata de corregir esa tendencia del mercado que excluye el mundo físico de los



balances económicos, para evitar que los procesos naturales del mercado propicien la degradación de los recursos naturales, o generen tal grado de contaminación que limiten su propia sostenibilidad. Sin embargo, otra limitante de la economía ambiental consiste en que al otorgar un valor monetario a los bienes naturales o a las alteraciones que ellos provocan por causa de la actividad humana, no se asegura que los bienes de la naturaleza sean procesados o extraídos de manera simétrica a la capacidad que tiene el medio para regenerarlos.

... *“El concepto capacidad de carga importado desde la ecología, es un buen instrumento de razonamiento de esta contradicción entre ritmos económicos y ritmos de la naturaleza. ...si la producción sobrepasa la capacidad natural de sustentación de dichos recursos, entran en crisis los procesos naturales mismos (Foladori, 2001:131).*

Esto lleva a reconocer que, al asignar precios de mercado a bienes, algunas veces intangibles como los del mundo físico, emergen otras dificultades que, según Foladori (2011), se pueden clasificar en tres tipos: *Teóricas –Técnicas, Éticas y Políticas.*

Las dificultades *Teóricas-Técnicas* consisten en la valorización monetaria de un suceso intangible (p. ej. un accidente vehicular, una catástrofe por un fenómeno hidrometeorológico a causa del cambio climático o las emisiones de GEI) donde los mecanismos para asignar valor a bienes que no son considerados mercancía se ven limitados debido a que, para que la asignación de valor logre el *“optimo social”*, es necesario que exista oferta y demanda de las mercancías valuadas, de lo contrario el valor asignado queda únicamente construido de manera teórica, mas no alcanza un nivel empírico, es decir, resulta ser un valor imaginario. Además de existir diversos métodos de valuación, inconsistentes entre sí.

Las dificultades *Éticas* residen en el método de asignación de precios. Cuando los precios se otorgan *“de una manera tecnócrata”*, fuera de los principios de la economía neoclásica, regida por *“la mano invisible”*, donde el valor de un producto es conferido por el trabajo existente en el producto y las transacciones realizadas para obtenerlo; las implicaciones éticas tienen lugar en el aseguramiento del desarrollo sostenible para beneficio de las generaciones presentes y futuras, al no asegurar que dicho valor sea asignado a una externalidad, tampoco se asegura su completa internalización en el mercado ni tampoco, por consiguiente, la mitigación del daño.

Finalmente, las dificultades *Políticas* que se sitúan en el campo de la divergencia entre externalidades positivas y externalidades negativas. Foladori las ejemplifica a partir del cambio climático, plantea que habrá poblaciones que se vean beneficiadas por las variaciones

climatológicas (aumento de lluvias o temperaturas, por ejemplo), pero también habrá otros grupos humanos, en el otro extremo, afectados por el fenómeno (incremento en el nivel del mar, lluvias, temperaturas, etc.). La situación lleva a preguntar por cómo tasar una indemnización, ya que si se indemniza a los perjudicados por parte de los beneficiados, estos pudieran migrar a zonas donde no existe perjuicio alguno... “¿Por países beneficiados vs. Perjudicados? Podría ser injusto, ya que existen países más y menos grandes, más y menos poblados, etcétera.

En síntesis, son varias las limitaciones que derivan de la asignación de costos con base en los planteamientos de la economía ambiental. La asignación de costos de contingencia (por reparación de los daños a un producto intangible), tienden a mermar la capacidad de dicho valor arbitrario para insertarse en el sistema económico, pocas veces se asegura la reparación óptima del daño o bien la distribución correcta de la responsabilidad por el daño generado. Esta situación ha llevado a los teóricos de la economía a buscar una respuesta a lo que han llamado *naturaleza del problema*. El diálogo establecido con otras ciencias, específicamente las naturales como la ecología y la termodinámica, ha permitido considerar el sistema económico como un sistema de flujo de materia y energía, abierto y no cerrado, autorregulado y basado en la racionalidad económica de los agentes participantes en el mercado, como planteaban los economistas clásicos. Esas limitaciones conceptuales son las que han dado paso a la emergencia de perspectivas analíticas más complejas, sistémicas, como la economía ecológica y el enfoque eointegrador.

### 3.3. Economía Ecológica: Un Enfoque Multidisciplinario para Interiorizar el Ambiente

La economía ecológica integra fundamentos de ciencias, aparentemente separadas entre sí, como la economía y la ecología, haciendo uso de otras ramas científicas como la termodinámica, e intenta ofrecer una explicación de los fenómenos causados por la interacción entre el actuar social y el entorno físico, las alteraciones que se generan a partir de ello con vistas a paliar o mitigar las afectaciones ambientales. A continuación, se esboza cómo surgen las relaciones entre las ciencias naturales y la economía (ésta inicialmente de carácter positivista), y cómo se desarrollan los postulados teóricos que amplían el objeto de estudio de la ciencia económica.

### **3.3.1. La Integración de las Ciencias Naturales en la Ciencia Económica**

La Economía Ecológica integra en su nombre dos disciplinas científicas que comparten la misma raíz “Eco” (eco-nomía y eco-logía). La raíz Eco proviene el sustantivo griego *Oikos*, que se traduce como casa, hogar u hacienda. Por lo que eco-nomía proviene de Oikonomía, donde Oikos el sustantivo y Nomía, que proviene del griego *Nomos*, que significa administrar, lo que implica que la definición etimológica de la palabra Economía, consiste en “*Administrar la Casa*” (Mirón Perez, 2004). Mientras que ecología, aunque también presenta la misma raíz etimológica, se diferencia de Economía al cambiar el termino *nomos* por el término *logos* que significa ciencia, es decir, la ciencia de la casa.

Por tanto, la Economía Ecológica como propuesta alternativa al paradigma económico dominante, hace referencia por una parte a la ciencia económica que busca maximizar la utilidad derivada de los recursos y, por la otra, a la ciencia ecológica que interioriza el estudio de los procesos físicos, químicos y biológicos y los múltiples estados de equilibrio que permiten el aprovechamiento de los recursos.

A continuación, algunos conceptos teóricos de las ciencias naturales (termodinámica y ecología, fundamentalmente) y la manera en que se interiorizan en las ciencias económicas para darle paso a la Economía Ecológica.

### **3.3.2. Interiorización de la Ciencia Ecológica y la Termodinámica en la Economía**

Sutton (2006) define la ecología como “...*la ciencia que estudia las interacciones de los organismos vivos y su ambiente*”, la ciencia de la casa, asumiendo etimológicamente que al decir casa nos referimos al planeta tierra como albergue de la humanidad. Según el autor, los organismos (veámoslos como seres humanos) no existen de forma aislada, forman parte de un sistema donde interactúan entre sí y con el entorno físico que les rodea; ello da pie al concepto *eco-sistema*, es decir, el sistema de la casa (Sutton, 2006).

Los teóricos de la economía ecológica reconocen que el sistema económico no está aislado del

medio, entorno o ambiente humano, asumen además que está gobernado por las leyes de la termodinámica, por tanto, que el flujo de energía es constante entre los sistemas que conforman el ambiente, que ese flujo depende de las entradas y salidas de energía entre los subsistemas que conforman cada sistema así como de la interacción existente entre los distintos sistemas que constituyen el ambiente humano (social, ecosistema, atmosférico) (imagen 18).

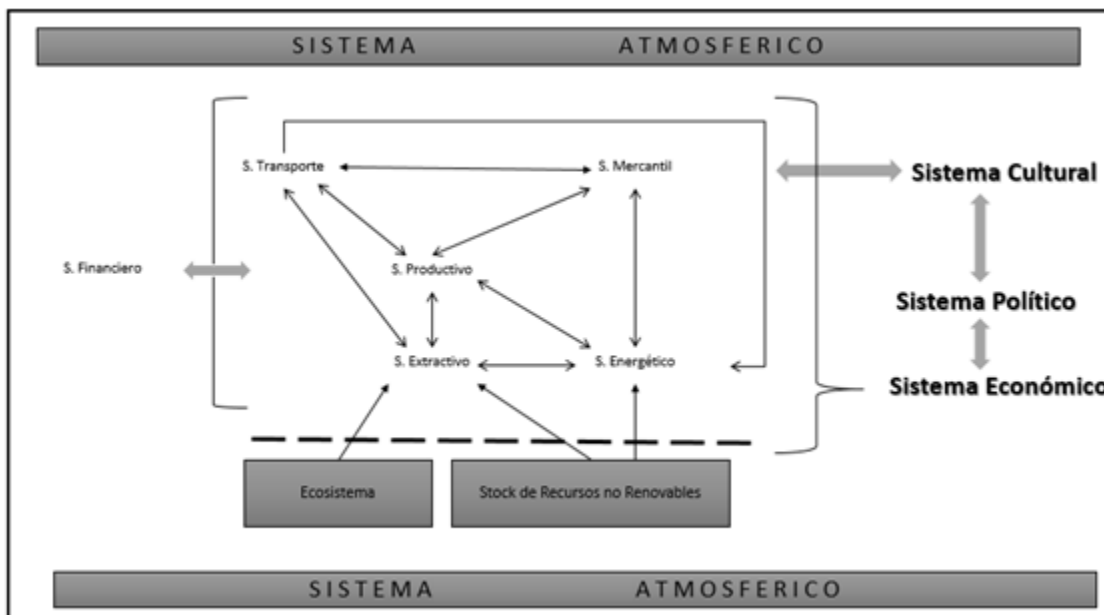


Imagen 18. Interacciones del Ambiente Humano y Sistema Social con subsistemas político, cultural y económico, ecosistema y sistema atmosférico.

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, si el sistema económico refiere a “...la forma en que la humanidad ha dispuesto su *aprovisionamiento material*” (Boettke & Heilbroner, 2017), entonces dicho sistema comprende la forma de obtención/extracción y los medios para la dispersión de los recursos que la sociedad demanda. De esa coordinación social que tiene como origen el sistema económico se conformaron diversas instituciones que dieron lugar al mercado, entendido éste como una estructura social que facilita el intercambio de bienes y mercancías en una sociedad (Ahrne, Aspers, & Brunsson, 2015). La cuestión entonces es cómo analizar ese flujo de energía desde la perspectiva de la economía ecológica. Para iniciar, importa precisar algunos conceptos en el campo de la termodinámica.

La palabra termodinámica deriva del griego *therme* (calor) y *dynamis* (fuerza), refiere a la fuerza

del calor, pero la ciencia como tal se ocupa de estudiar los flujos de energía en un sistema. Entiéndase como sistema al objeto de estudio en el cual tienen lugar los procesos termodinámicos (Moran & Shapiro, 2004). Estos autores reconocen dos tipos de sistemas en este campo: los *cerrados y abiertos (volúmenes de control)*. Los primeros refieren a una cantidad fija de materia, el atributo cerrado significa que siempre contiene la misma cantidad de materia, no hay entrada ni salida de materia a través de sus fronteras, lo cual no implica que esté aislado del entorno. A esto último se le conoce como “sistema aislado”, el atributo de un sistema cerrado *ideal es la no interacción con el entorno*. Los sistemas abiertos refieren a “...una región del espacio a través de la cual puede fluir masa” es decir un sistema en el que la materia puede o no, atravesar sus fronteras, interacciona directamente con el entorno.

Por tanto, para describir un sistema es necesario conocer su estado, el conjunto de propiedades que lo constituyen y el cómo se relacionan esas propiedades entre sí: masa, volumen, energía, presión, temperatura, entalpía y entropía, y magnitud. Por estado se entiende “...La condición de un sistema definida por el conjunto de sus propiedades”, un sistema está condicionado por los procesos que se suscitan dentro de él, lo cual es determinado por las propiedades antes citadas, de manera que si una propiedad cambia al interior del sistema, todo el sistema presenta un proceso y por tanto cambia (Moran & Shapiro, 2004).

Otro concepto importante es el *ciclo termodinámico*, refiere a cuando inicialmente un sistema sufre un proceso pero al final, sus propiedades retoman sus valores iniciales, lo cual puede suceder de manera indeterminada, una y otra vez.

Las propiedades a su vez pueden tener el atributo de *extensivas e intensivas*. Las primeras dependen del tamaño del sistema y son dadas por la suma de los valores correspondientes a las partes en que se subdivide (masa, volumen, energía, entalpía y entropía), son propiedades extensivas porque dependen del tamaño y la extensión del sistema. Las propiedades *intensivas* no se pueden sumar entre sí, su variación no depende de la extensión del sistema sino de la posición que ocupen en el sistema en un instante dado, por ejemplo, el punto de ebullición, el punto de fusión, etc. (Moran & Shapiro, 2004).

El *estado de equilibrio* en termodinámica, incluye además del balance de fuerzas, también el balance de otras influencias. Por lo cual, dentro de un sistema termodinámico existen diferentes tipos de equilibrios parciales (equilibrio químico, mecánico y térmico). El equilibrio general consiste en la suma de los tipos de equilibrios parciales. Sin embargo, el equilibrio general es un

ideal de equilibrio porque los sistemas reales tienden al *no equilibrio*, tienden a incrementar el valor de *entropía* ( $S$ ), magnitud que mide el grado de desorden molecular de un sistema, derivado del cambio de entalpía ( $H$ ), magnitud de energía que un sistema sede o absorbe de su medio. Por lo tanto se puede definir como un *estado de equilibrio* a todos los estados por los que atraviesa el sistema en un estado de *cuasiequilibrio*, es decir el estado en el que una propiedad se desvía del equilibrio de manera infinitesimal (Moran & Shapiro, 2004).

Una característica particular del sistema social actual es la relación de intercambio energético (entalpía) entre el sistema económico y los demás sistemas embebidos en el ambiente humano (cambio en la entalpia significativo), lo que resulta en sistemas con un alto grado de entropía alterando las propiedades del ambiente humano (véase imagen 22).

Este incremento de la entropía del ambiente humano vinculadas a actividades antropogénicas ha llevado a la sociedad a enfrentar una serie de problemáticas ambientales a diferentes escalas, las cuales pueden ser analizadas de forma sistémica, como sugiere el enfoque ecointegrador.

### **3.3.3. El Enfoque Ecointegrador que deriva la Economía Ecológica.**

La Economía Ecológica plantea un enfoque “ecointegrador” (Naredo, 2003), en alusión a las dos disciplinas que sugiere la raíz “Eco” (eco-nomía y eco-logía), evita su disociación:

... *“Denominaremos enfoque ecointegrador a aquel que trate de reconciliar en una misma raíz eco la utilidad propugnada por aquellos con la estabilidad perseguida por estos, precisando con claridad el contenido y el alcance de las contradicciones que puedan plantearse entre ambos niveles. (Naredo, 2003:506).*

La *Economía Ecológica*, por si misma, es un intento de reconciliar a la ciencia económica clásica-neoclásica, con las bases que le dan soporte a la operación de estas, los recursos naturales, la naturaleza; pretende unir la ciencia de la administración de la casa *nomos*, con la ciencia de la casa *logos*. De esta orientación emergen varios planteamientos, conceptos y enfoques, entre estos el ecointegrador, que exige evaluar los logros utilitarios “...atendiendo su relación directa sobre la vida de los habitantes del territorio en cuestión”. Su propósito es cambiar la forma de valorar los recursos naturales (indirecta, a través de sus valores de cambio), a una forma de evaluación más

directa, con base en su *funcionalidad para determinados usos*, así como su disponibilidad, dejando de lado el enfoque económico predominante (Naredo, 2003).

Esa propuesta metodológica parte de una perspectiva conceptual sistémica, que se trata de operativizar, a través de las variables que toma en cuenta al asignar un valor a un bien natural. Naredo (2003) puntualiza entonces los aspectos más importantes a considerar al realizar la internalización conceptual en las variables para no afectar su función. Tales son:

*Las relaciones entre lo físico y lo monetario.* Aquí advierte el cuidado que se debe tener al caracterizar en términos físicos los objetos económicos, si bien el enfoque integrador sugiere asignarles un valor monetario, ello debe ser a través de un cuidadoso y profundo análisis multisistémico, que facilite imputar un valor a ese producto considerando sus distintos atributos en razón de su origen, función, disponibilidad, recuperación y reintroducción al ciclo económico, sin dejar de lado los valores pecuniarios de las materias que componen al proceso de extracción, traslado y modificación del bien natural. En ese proceso está el riesgo de caer o generar en una serie de asimetrías entre los objetos económicos y los valores de cambio (Naredo, 2003).

*Lo distintivo de la inserción Territorial en cada enfoque.* En este punto se destaca el manejo distinto que hace de la inserción territorial el enfoque integrador con respecto al enfoque económico estándar. La ecuación para la asignación de valor a un bien natural que sugiere el enfoque eointegrador incluye variables que consideren los posibles flujos de energía y materiales, proceso en el cual debe cuidarse que los flujos estén estrechamente ligados al territorio de referencia. En el enfoque económico predominante tales límites territoriales llevan consigo el papel más importante porque transfieren valor al bien natural, según sean las barreras aduanales por las que tienen que atravesar los objetos económicos (bien natural), sean éstas reales o ficticias (Naredo, 2003).

*Distinción entre flujos y Stocks.* Aquí importa diferenciar entre flujos y stocks, esto es distinguir claramente cuando existe un stock de recursos disponibles y cuándo se trata de los flujos de materia y energía que esos stocks puedan ofrecer (ej. Cuanto petróleo puedo extraer, stock, y cuanta gasolina puedo generar a partir de él, flujo) (Naredo, 2003).

*Amortización vs Conservación.* La distinción y manejo claro de estos conceptos es lo fundamental del pensamiento eointegrador, de ello deriva la orientación operativa de las variables consideradas en la ecuación para interiorizar la naturaleza de la materia con base en la primera y segunda ley de la termodinámica. Los planteamientos precedentes fueron hechos por Georgescu-Roegen (1971), primer economista que abordó los temas de termodinámica y entropía, inició el campo de la

termoeconomía y contribuyó al desarrollo de la bioeconomía y de la economía ecológica. A diferencia del sistema económico standard donde un bien pierde su valor a medida que los valores pecuniarios se extinguen; el enfoque eointegrador propone internalizar la primera ley de la conservación (*la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma*) en los procesos económicos, ello implica integrar variables que consideren la regeneración de los productos extraídos, de manera que tal extracción sea sostenible. En cuanto a la amortización, ésta se vincula con el término *Entropía* o segunda ley de la termodinámica, refiere a la irreversibilidad de un proceso; en termodinámica la energía de un cuerpo frío nunca va a fluir hacia un cuerpo caliente, para que esto suceda debe generarse un trabajo, cuya complejidad dependerá del valor de entropía en el sistema, es decir su grado de desorden. (Moran & Shapiro, 2004).

Naredo (2003) argumenta la conveniencia de interiorizar ambas leyes termodinámicas en los procesos económicos, por la imposibilidad de regresar un bien natural, después de su transformación y/o utilización, a su estado natural. La discusión está en si es necesario velar por la conservación de un stock o bien, por amortizar el costo de renovación de dicho bien; sea cual sea la decisión, la cuestión es determinar el valor del trabajo necesario para una u otra acción. En este punto, para visibilizar esos flujos entre materia y energía, sugiere utilizar herramientas e instrumentos de representación que consideren esos polos extremos (procesos extractivos y productivos), así como las etapas de mitigación y reciclaje involucradas. Para Naredo es importante que al analizar los *sistemas económicos* se acomode la noción de los mismos “...*al tipo de sistemas empleado para describir el funcionamiento de los organismos*”, considera que los sistemas económicos son sistemas abiertos, en interacción con el entorno, que tienden al *no equilibrio*, que deben compensar los procesos que degradan los bienes naturales mediante... “*un continuo flujo de intercambio de materiales y energía con su medio ambiente*” (Naredo, 2003:544-547). El enfoque eointegrador asume el objeto de investigación desde una perspectiva sistémica, amplia y compleja, a diferencia del método de análisis de la economía estándar (ambiental).

*Búsqueda de Estabilidad Ecológica y Equilibrio Financiero.* En este punto, el autor presenta aspectos estratégicos, particularmente variables tecnológicas y científicas, en esa búsqueda de estabilidad ecológica y el equilibrio financiero, sin olvidar que la meta es lograr su generalización espacio-temporal, es decir que los modelos de análisis resultantes puedan ser replicables a diferentes escalas. El crecimiento del valor agregado de los bienes producidos no tiene cabida en el enfoque eointegrador, sino “...*el origen y el destino final de tales objetos*”, dado sus objetivos



macro de brindar *estabilidad ecológica y equilibrio financiero; mejorar la vida y su ambiente*; asegurar la *utilidad ética y estética* de los bienes naturales; evitar la *monopolización*; y, desde una óptica *multidimensional*, aceptar que *el comportamiento humano no es ajeno a las leyes cósmicas*, esto es, lo que ocurre en el sistema económico, no es ajeno a las leyes universales. (Naredo, 2003).

### **3.3.4. Conceptos Básicos en la Investigación: Ecosistema, Medio o Entorno, y Ambiente Humano.**

En el Convenio sobre Diversidad Biológica del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, se define un ecosistema como “... *un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional* (PNUMA, 1992). En tal definición está implícita una división epistémica entre la ecología y economía, la primera como la ciencia que estudiaría a las relaciones biológicas, metabólicas y de simbiosis entre especies y su entorno; y la segunda, tras hacer una abstracción del ecosistema y un análisis jerárquico y de su relación con el entorno, se centra en estudiar el sistema económico. No obstante, existen corrientes de pensamiento multidisciplinar que integran dentro de la ecológica, esas abstracciones realizadas por las ciencias sociales, en una unidad funcional más amplia que considera los aspectos “naturales” y otros derivados de la racionalidad humana: la *Ecología Humana*. Esta ciencia estudia el ecosistema, particularmente los intercambios entre el hombre y el entorno derivados de la actividad social o “metabolismo social”, entendido éste como las prácticas colectivas regidas por leyes y estructuras de construcción social; analiza cómo tales prácticas y estructuras repercuten en el entorno natural (éste sólo se rige sólo por las leyes físicas de la naturaleza). La ecología humana incluye aspectos biológicos y químicos, pero también económicos, políticos, sociales, éticos y estéticos; y por lo mismo, adopta un enfoque multisistémico e interdisciplinario. (Sutton, 2006).

Definido lo que se entiende por ecosistema y la ciencia que lo estudia, importa ahora revisar los conceptos “medio” y “ambiente humano”, sus diferencias y similitudes con el término ecosistema. La evolución del concepto “ambiente”, incluso en la biología, no ha estado exenta de ambigüedades. Las primeras grandes teorías de Lamarck y Darwin, en el campo de la biología,

conciben el ambiente separado de los organismos, a los cuales impone presiones que superar para lograr la supervivencia, tal separación se desvanece en las nuevas teorías biológicas que empezaron a ver “...a los organismos como parte integral del ambiente, afectando a través de sus comportamientos y metabolismo sus propias presiones selectivas y las de su descendencia. Se pasa de una relación unidireccional a una bidireccional, y finalmente a una integral y multidimensional, en la cual los seres vivos participan activamente en la configuración de su propio ambiente, y, por lo tanto, en el delineamiento del curso de la evolución” (Gimenez, 2015: 98). En esa visión mecanicista del mundo natural se reconoce la existencia de una relación causa efecto de carácter bidireccional, es decir, el medio donde el “todo” se encuentra sumergido, es capaz de influir en el sistema o biosistema pero también se puede dar lo contrario (imagen 19) (Gallopín, 1980).

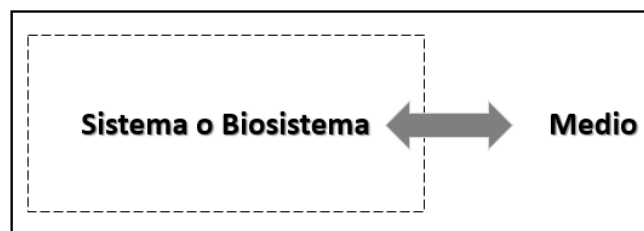


Imagen 19. Formación del Medio ambiente. Relación entre Sistema o biosistema y el medio en el que se encuentra sumergida (Primera aproximación).

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, el ecosistema o ambiente natural suele interpretarse como el espacio no modificado por el ser humano, remite en el pensamiento moderno ortodoxo a algo que no ha sido o puede ser intervenido por los humanos (Giddens, 2001), e implica una concepción dicotómica del mundo, conformada por dos sistemas independientes entre sí: la estructura humana que muchos limitan a la cultura, y la naturaleza, ajena a ella (Gómez, 2009). En esta perspectiva, un sistema refiere a “una abstracción definida de un segmento determinado del universo”, por ejemplo, el ecosistema a aquella parte del universo que interesa al biólogo, en un contexto determinado. Y el ambiente o entorno estará en función del sistema o los sistemas que lo integran. Así, al estudiar al ser humano como biosistema, el ambiente o entorno será la primera aproximación a él, donde ese ser tiene capacidad de influir y ser influido. Por tanto, el *medio o entorno* se constituye en el universo que

contiene uno o más sistemas, entre ellos los naturales y humanos, que devienen en un constructo al estudiar interacciones concretas entre determinado *sistema* y su *medio* (Gallopín, 1980).

Una noción distinta de sistema la ofrecen Maturana y Varela (1990), de la cual derivó el operacionalismo sistémico y una nueva visión del mundo y del cómo analizarlo. Para estos autores los sistemas son unidades definidas por una operación de distinción, diferencian un sistema de su entorno identificando el conjunto de elementos que conforman una unidad debido a la operación que realizan, siendo la organización y la estructura los elementos centrales para tal distinción, elementos básicos de la teoría sistémica. La organización refiere a las relaciones que existen o se dan para que ese algo sea, ello es invariable (constante), si cambia, el sistema desaparece; y la estructura, concebida como dinámica, refiere al conjunto específico de componentes y a la manera en que se relacionan en el espacio para ejecutar la operación de distinción que hace posible la existencia del sistema concreto. La estructura refiere a la forma concreta como un sistema realiza su organización (y no todos los sistemas que poseen la misma operación de distinción la ejecutan de la misma manera), es aquello que permite ser a un sistema (ejecutar su operación de distinción), el mobiliario del mundo –plantean dichos autores–, está conformado por entidades determinadas estructuralmente. En otras palabras, la estructura especifica los cambios en un sistema, de ahí que la forma en que éste interactúa con su entorno está totalmente limitada a sus capacidades estructurales. En consecuencia, el entorno no establece relaciones instructivas como sistema ni la información es aceptada como metáfora válida dentro del operacionalismo sistémico; de manera que el entorno no le comunica al sistema como responder a una perturbación que éste produzca en él, ni el sistema responde en función de una imagen o representación que se ha hecho del entorno. Planteamiento válido tanto para entidades inertes como vivientes.

Ahora bien, los cambios estructurales y la continuidad de la organización de un sistema se dan gracias a su entorno, por lo que “no es concebible ninguna unidad sin entorno (...) porque en tal caso ya no sería un sistema” (Gómez, 2002: 26).

Para los autores citados, la identificación del sistema no es un proceso en escisión en el cual estén aislados y vistos como entidades con ontología independiente del resto del mundo. Esto significa, según Maturana y Lozano (1996), que no puede crearse un relato de una entidad sin mirar su entorno y viceversa. La identificación de sistemas es más bien resultado de un proceso lingüístico de organización continua del mundo, de manera que cada lengua, sistema lingüístico y visión del mundo, toma esa masa amorfa e indiferenciada que es *todo* lo que experimentamos y lo empieza a

dividir, clasificar, diferenciar de una manera particular, en función de sus propias lógicas y regularidades (ECO, 2008).

Si aceptamos esta explicación de las prácticas discursivas y sistemas de convicciones, es viable afirmar entonces que cualquier sistema lingüístico no hace más que descubrir y construir el mundo de una manera particular, pero también, que es posible ejecutar una visión del mundo donde no hay naturaleza. Esos argumentos dan pie al operacionalismo simbólico, el cual considera todo discurso, relato o teoría como una manera particular de traer el mundo a la mano, proceso que estará en función del sistema lingüístico y de quienes lo utilicen. Por tanto, el operacionalismo sistémico no valida la creencia ortodoxa de un algo constante para todo observador llamado *naturaleza*.

El argumento es que, al estar el “mobiliario” del mundo integrado por unidades estructuralmente determinadas, ninguno de sus componentes interviene a su antojo sobre el resto, ello implica aceptar la idea de la existencia de interacciones instructivas; pero también, el que todas las entidades del mundo sean sistemas dinámicos que existen gracias a su interacción con el entorno, por lo mismo, no es posible creer en unidades que puedan desarrollar una ontogenia ajena a los cambios de su entorno, por tanto la mera existencia de un sector animal humano en su entorno, implica necesariamente una deriva ontogénica diferente.

En ese orden de ideas, los autores hacen una distinción entre *entorno* y *mundo* para explicar a qué se refiere la modernidad ortodoxa con la porción del mundo llamada naturaleza, particularmente ajena a la intervención humana. Primero, dejan claro que cada sistema no interactúa con todo el mundo, sino con una parte de él: a esa porción constituida por los elementos del “mobiliario” del mundo en la que el sistema gatilla cambios estructurales o que se gatillan cambios estructurales en él, le llaman *entorno* (umwelt). Mientras que el *mundo* (welt) lo definen como “el número máximo de acontecimientos posibles”, *aquel conjunto que lo incluye todo*, que no posee entorno (Izuzquiza, 2008: 161). Desde esta perspectiva, la naturaleza pristina será aquello que no hace parte del entorno humano, y que por lo tanto no puede ser considerado por nosotros. Con tales distinciones en mente, es claro que un ecologismo basado en un operacionalismo sistémico no se ocupará del *no entorno*, sino precisamente *del entorno*, buscando una manera diferente de interactuar con él.

Para fines de este trabajo, los sistemas de ese entorno o medio que interesa analizar es lo que hemos denominado ambiente humano.

El ser humano, como especie, forma parte de la naturaleza y se diferencia de los otros seres vivos por su lenguaje, pero también por su capacidad para crear y utilizar herramientas en magnitud y

escala superior a las de otras especies:” ...*los humanos, como especies orgánicas, somos naturales, pero los efectos ambientales de nuestra cultura única, avanzada y artificial no lo son (Johnson, et al, 1997: 582).*

Se asume entonces que el sistema ecológico o ecosistema no es el ambiente como tal, sino un sistema más del ambiente (entorno o medio), en el cual interactúan otros sistemas (atmosférico u otros). El “ambiente natural” será aquel sistema carente de interferencia humana, ausente de actividad humana, esa parte del “medio” o “entorno” constituido por el sistema ecológico en el cual se desarrollan los biosistemas, microbioma, flora y fauna, las relaciones simbióticas entre estos, y sus relaciones con los factores abióticos, como el territorio con todas sus características físicas, donde dichas interrelaciones modifican el entorno, y se encuentran en un estado de *cuasiequilibrio*. (Imagen 20).

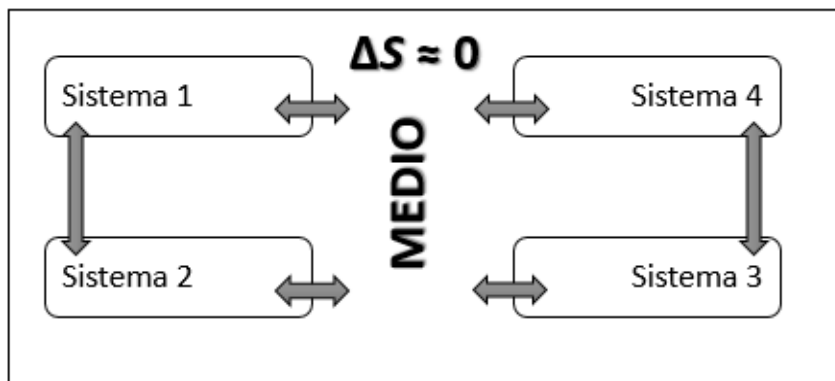


Imagen 20. Medio o Ambiente natural. Relación de sistemas naturales entre sí y con el medio, caracterizado por la ausencia de sistemas humanos y con tendencia al equilibrio.

Fuente: Elaboración propia

Mientras que un Sistema Social o antropogénico (imagen 21), refiere a un *sistema caracterizado por actividades humanas, que convive en un medio con otros sistemas (ecosistema, atmosférico, etc.)*. Esa parte del medio o entorno que refiere a lo humano, al sistema o ambiente en el cual tienen lugar actividades e interacciones antropogénicas, *la situación espacial-temporal que resulta de las relaciones entre el sistema social y sus componentes -sistema económico, político y cultural-, con los demás sistemas que constituyen el medio.*

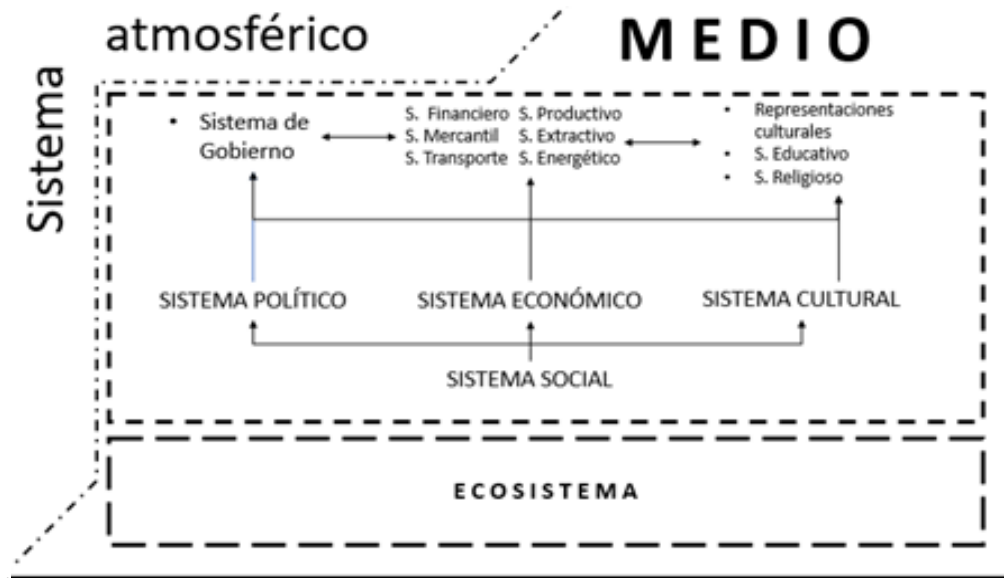


Imagen 21. Sistema antropogénico o ambiente humano. Interacciones del sistema social con otros sistemas del medio (ecosistema, atmosférico).  
Fuente: Elaboración propia

Por tanto, un estudio estricto sobre el ambiente humano, exige considerar cada sistema que lo integra y las interacciones que tiene con los demás sistemas del medio.

En el caso que nos ocupa, valorar el rendimiento ambiental del SPMU, las acotaciones conceptuales aquí planteadas justifican realizar el análisis a través de los flujos de energía que se dan entre esos sistemas que conforman el medio o entorno en el cual tiene lugar el SPMU. Una argumentación más de porque la termodinámica esta intrínsecamente relacionada con la ciencia económica.

Tomando en consideración los planteamientos conceptuales vertidos hasta aquí, en relación con ambiente humano, sistemas que lo componen, y cambios antropogénicos asociados al sistema social, se define la *problemática ambiental contemporánea como una problemática de índole antropogénico, asociada al incremento de la entropía en el entorno o ambiente humano, a partir de actividades humanas que impactan el ambiente natural y generan el incremento de la entropía en los demás sistemas embebidos en ese ambiente humano* (imagen 22). Esto se define con la ecuación 1 (ecuación 1)

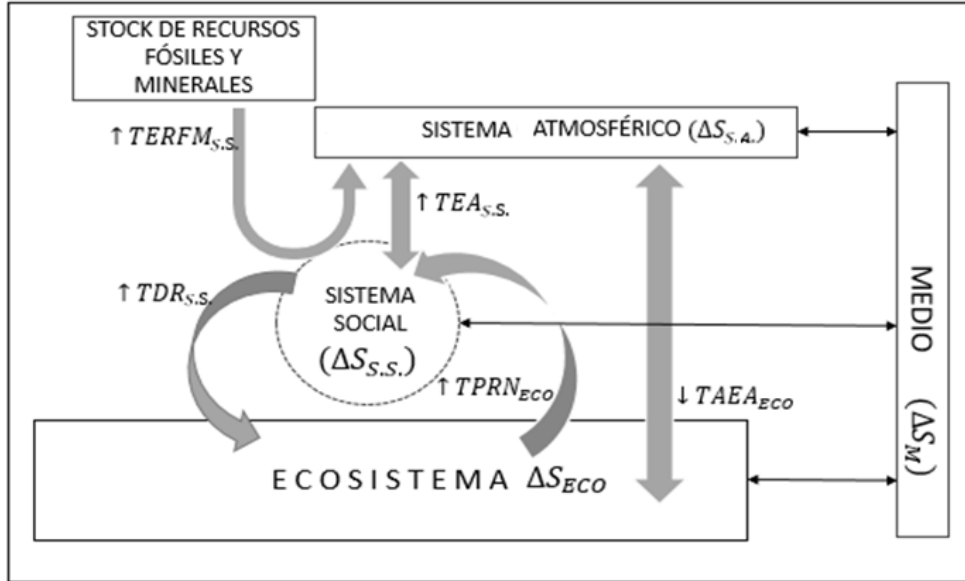


Imagen 22. Problemática ambiental humana: variación de la entropía de los sistemas y sus variables, que incrementan el grado de entropía en el medio. Se define como variables del sistema a: Tasa de Producción de Recursos Naturales [TPRNECO], Tasa de Devolución de  
Fuente: Elaboración propia.

$$\Delta S_M = \Delta S_{ECO} + \Delta S_{S.A.} + \Delta S_{S.S.}$$

Ecuación 1. Valoración del nivel de entropía del medio. Elaboración propia.  
Fuente: Elaboración propia.

En síntesis, en este capítulo se ha tratado de mostrar que el problema teórico de la ciencia económica reside en las externalidades del sistema económico, específicamente en las externalidades negativas carentes de títulos de propiedad y de valor de transferencia, mismas que han afectado el medio ambiente humano al agravar las distintas expresiones locales –y globales– que puede asumir la problemática ambiental contemporánea.

Se ha expuesto la relevancia de la economía ecológica y del enfoque eointegrador como propuestas conceptuales y metodológicas, respectivamente, que permiten interiorizar las externalidades. Ambas se orientan por perspectivas analíticas multidisciplinares, e incluyen herramientas de las ciencias naturales y de las ciencias sociales para abordar y atender con fines de solución las problemáticas del ambiente humano. La narrativa utilizada ha sido con el fin de

sustentar y configurar una herramienta metodológica adecuada que permita dar cumplimiento al objetivo general de esta investigación y probar la hipótesis.



#### **4. ESTUDIOS RELACIONADOS CON RENDIMIENTO AMBIENTAL Y ASIGNACIÓN DE VALOR A LAS EXTERNALIDADES DEL SISTEMA ECONÓMICO**

En este capítulo se presentan algunos estudios referenciales que han abordado la temática de interés. Para evidenciar algunos acercamientos teóricos y metodológicos al problema de investigación, se presentan los estudios identificados en dos vertientes de análisis: a) desde el rendimiento ambiental; y b) desde la asignación de valor a las externalidades del sistema económico. La literatura revisada consideró los temas referentes al rendimiento y externalidades del sistema económico, sobre todo los procedimientos de valoración que hacen al respecto los teóricos de la economía ambiental y de la economía ecológica. El propósito es identificar los elementos centrales a considerar en el diseño de una metodología que permita valorar el rendimiento ambiental del SPMU.

##### **4.1. Valorización de las Externalidades del Sistema Económico**

García, J. & Chávez, E. (2017) intentaron determinar “...el soporte económico local” que se pudiera generar por la actividad económica en la zona de la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y el Delta del Rio Colorado, para la protección de la vaquita marina. Refiriéndose a esta especie como el soporte ambiental de la región, y a la extinción de la especie, como la externalidad derivada de la extracción de otras especies marinas asociadas a la primera. Para la valoración económica de la externalidad, o lo que llaman ellos... “Bienes o recursos carentes de mercado” utilizaron el modelo multicriterio propuesto por Thomas Staay en 1980, que según los autores genera una mejor aproximación al valor. Dicho modelo integra varios métodos, como son la ponderación de variables, la programación por metas, el proceso analítico jerárquico y el proceso analítico en red, sin embargo, los autores optaron por utilizar el método de “proceso analítico en red (García & Chávez, 2017).

De acuerdo con los autores, el método mostrado presenta ventajas sobre los otros porque permite reconocer las interrelaciones más allá de las jerarquías, cuenta con un esquema sistémico propio y abandona la noción tradicional de la jerarquización rígida al optar por un método basado en la

adopción de redes. Además de seleccionar los puntos de la red, tomaron como referencia once especies para la valorización económica, interrelacionadas entre sí y con la vaquita marina. Asignaron un valor de mercado a la extracción de dichas especies (28,150,588 dólares americanos) tomando en consideración el valor de mercado de las especies extraídas, así como la disponibilidad del recurso pesquero, la tecnología para el aprovechamiento del recurso y el mercado pesquero (García & Chávez, 2017).

Una vez que llevaron a cabo el método seleccionado, les fue posible asignar un valor directo por la depredación de la vaquita marina (más de 2.5 millones de dólares), determinado a partir de las relaciones existentes entre el objeto de estudio y las especies que tienen relación directa con dicho objeto, es decir, forman parte de la cadena trófica que compromete el equilibrio ecológico de la región (García & Chávez, 2017).

En síntesis, el valor asignado a la depredación de la especie fue externo a la depredación de la especie, no es de la especie en sí, éstas siguen fuera del mercado. En relación con el costo social, no se aseguran que cualquiera de los agentes involucrados en la cadena interiorice el costo real de la especie en cuestión dentro de su inversión privada, a menos que sean sujeto de apropiación (García & Chávez, 2017).

García-Ubaque1, García-Ubaque2 & Vaca-Bohórquez (2015), por su parte, estimaron los “...beneficios económicos en salud y ambientales relacionados a la implementación del Convenio de Estocolmo para el control de COP’s [compuestos orgánicos persistentes], es decir compuestos a base de carbono, utilizados como pesticidas y plaguicidas en la agricultura. Este estudio consistió en evaluar los costos asociados por cumplir o no el Convenio de Estocolmo. Para esto definieron dos casos:

... “ i) el país evita incurrir en los costos que implica la implementación del convenio y asume los costos por la contaminación de COP’s; ii) el país asume los costos de implementar el convenio y evita los costos de contaminación por COP’s” (García Ubaque et al., 2015)

En su metodología establecieron que el valor bruto del beneficio de cumplir dicho convenio sería igual a la diferencia entre cumplir y no cumplir (García Ubaque et al., 2015). Para generar el valor correspondiente a los costos en caso de cumplimiento, los autores identificaron los costos asociados a dicho objetivo, por ejemplo, la expedición de nuevas normas, programas de capacitación, sistemas de control y seguimiento e información. También identificaron cada uno de los COP’s

normados por dicho convenio y asignaron un horizonte para cada tipo, es decir el tiempo en que cada compuesto sería controlado o sustituido, lo cual les permitió asignar un de uso y no uso a cada uno de los compuestos con base en la gestión de las sustancias y la gestión institucional. Y, finalmente, transfirieron a los plaguicidas los costos asociados al ... “valor que representa la degradación anual de suelos a causa de la contaminación,” medidos a través de las pérdidas agrícolas, con valores del mercado (García Ubaque et al., 2015).

Importa precisar que, además, dentro del costo social, identificaron el valor desde la óptica de la economía ambiental. Los autores evaluaron el impacto de tal fenómeno en la salud, utilizando como variables datos de morbilidad y mortalidad por enfermedades asociadas a la exposición de dichos plaguicidas, ello intrínsecamente los llevo a transferir el costo social ya mencionado a los propios plaguicidas (García Ubaque et al., 2015).

En síntesis, el trabajo citado, estima los valores directos de uso y no uso asociados a un producto tangible, porque reintroducirlo al sistema económico en su misma forma implicaría añadir más costos en la ecuación, derivados de los procesos de recuperación. Su externalidad negativa permanece tangible y focalizada en la región donde se utilizaron, impactó directamente la salud y se pudo evaluar de manera directa. Esto a diferencia de otras externalidades que no permanecen estáticas y cuyo análisis requiere de mayores elementos por generar impactos de escala supraterritorial, algunos positivos y otros negativos.

Por otra parte, Delgado, W., (2015), planteó para el caso específico del agua un valor monetario desde la teoría económica standard a través de lo que él llama la curva de demanda de agua, es decir, los beneficios que obtienen los usuarios por la provisión del servicio hidráulico y que está a priori por la disponibilidad que tienen de pagar el servicio.

El valor de esta, según el autor se estima a partir del valor económico de los beneficios brutos de adquirirla, menos el costo de consumo, es decir costos asociados, derivados tanto de los beneficios, tasados en valor de oportunidad, como del costo por distribución, costos transferidos, por la tecnología, el capital humano y la infraestructura. Se argumenta que en los costos asociados se integran [en algunos casos] el costo ambiental [costo social], que recae en el principio pigouviano “el que contamina paga” (Delgado, 2015).

En el estudio se define el valor de sustentabilidad como “... la sumatoria de los procesos económicos, ecológicos, culturales y tecnológicos”, y se determina que el recurso hídrico tiene un valor ecológico y un valor de sustentabilidad. El valor ecológico integra los costos de daño, de

prevención y de transición [entiéndase por costo de transición aquellos conferidos por la “...recopilación de información, estudios y acuerdos que permiten establecer el nivel de contaminación”]; determinados todos esos costos de manera arbitraria, a través de costos indirectos asociados a valor real de la externalidad y no de la externalidad en sí. El autor presenta sus resultados y los compara con el esquema oficial que confiere un valor pecuniario al recurso hídrico. Finalmente, el estudio muestra que la ciencia económica standard al igual que la economía ambiental [estrictamente de formación keynesiana] al valorar un bien natural a partir de los costos asociados, no incluyen el costo intrínseco del bien natural, derivado de los procesos naturales [ciclo del agua] y sistemas energéticos que tienen injerencia en el recurso.

Valdivia-Alcalá, Abelino-Torres, López-Santiago, & Zavala-Pineda, (2012), realizaron un estudio para evaluar la gestión y el reciclaje de los residuos a través del método de valoración contingente referéndum [MVCR], su objetivo fue estimar el valor que la comunidad de la región de análisis estaba dispuesta a pagar por implementar un sistema de reciclaje. En su propuesta metodológica asignaron un costo de mercado, por la mitigación de un costo social (asociado a la mala disposición de residuos sólidos urbanos), la información la obtuvieron a través de encuestas integrada por reactivos con respuestas dicotómicas, aplicadas de manera directa a los posibles afectados e interesados, quienes anotaban si aceptaban pagar, o no, el costo planteado derivado del cambio tecnológico, logístico y administrativo (Valdivia-Alcala et al., 2012).

#### 4.2. Tipos de Indicadores Ambientales

Desde finales de la década pasada la sociedad representada por los tomadores de decisiones o grupos de interés (stakeholders) empezaron a mostrar gran interés por diseñar métodos para medir la sostenibilidad de las regiones y los países. Un gran avance en ese sentido fue el consenso internacional logrado en la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el desarrollo, organizado por las Naciones Unidas el año 1992, al reiterarse la necesidad de construir un método para medir y monitorear el desarrollo sostenible. Derivado de ello, la Comisión de Desarrollo Sostenible aprobó una serie de indicadores que fueron plasmados en el documento titulado Indicadores de Desarrollo Sostenible, Marco y Metodologías (1996). (Schuschny & Soto, 2009).

Schuschny & Soto (2009) define un indicador como una "...representación simplificada que busca resumir un concepto multidimensional en un índice simple (unidimensional) con base en un modelo conceptual subyacente". Es decir, un indicador se define y construye en función de una o muchas variables que en su conjunto permiten medir una "...una característica o un atributo de los individuos de estudio", y generalmente se construyen con la finalidad de evaluar o medir el desempeño (Rendimiento) de una unidad de análisis específica en un área o temática determinada (Schuschny & Soto, 2009).

De hecho, existen varios indicadores para medir la presión ambiental (Martínez-Alier, 2004): en el caso de la agricultura, por ejemplo, se han diseñado algunos para medir la pérdida de la biodiversidad o la presencia excesiva de nitrógeno en los acuíferos; en otras áreas del universo socio económico están los indicadores utilizados en el sector transporte, por ejemplo, los diseñados para medir el contenido de plomo en las gasolinas o bien los compuestos orgánicos volátiles, los cuales se han constituido en indicadores valiosos para medir la calidad del aire en las grandes urbes, como es el caso del indicador que mide la calidad del aire en la Ciudad de México, derivado de la estadística pública.

La existencia de ese tipo de indicadores ambientales obedece, en parte, a la existencia de la Economía Ecológica como disciplina y su interés explícito por "...corregir la contabilidad macroeconómica para lograr una medida del desempeño económico que tuviera en cuenta los daños ambientales" (Martínez-Alier, 2004: 8-36). En relación con el uso de energía, el mismo autor reconoce que la presencia y uso de estadísticas energéticas se remonta a varios años atrás, y también que tales estadísticas omiten la energía no comercial, es decir, aquella que se disipa de alguna u otra forma. Plantea que un balance energético más completo debería incluir las energías no comerciales, es decir, el consumo endosomático de energía (p. ej., la energía de la alimentación) y el uso exosomático, es decir, la energía en los artefactos de la vida cotidiana (Martínez-Alier, 2004).

Entre los diversos tipos de indicadores están los basados exclusivamente en las ciencias naturales, como la "Demanda Bioquímica de Oxígeno" (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno" (DQO), que miden el grado de contaminación de los cuerpos de agua o el dióxido de carbono equivalentes y sustancias agotadoras de la capa de ozono, que cuantifican el grado de contaminación o alteración de la atmósfera. Otros más corresponden a indicadores de desempeño de políticas, vinculados a la concreción de estándares regulatorios, por ejemplo, los límites máximos permisivos de emisión de

algún contaminante, o los indicadores basados en criterios contables como el PIB (Schuschny & Soto, 2009).

Y están los indicadores sinópticos, es decir, aquellos que...” intentan proveer una mirada contextual a una cuestión inherentemente compleja”. Estos indicadores buscan resumir un conjunto de información en un solo índice que pudiera ser interpretable de modo comparativo entre diferentes periodos o regiones (p. ej., el Índice de Desarrollo Humano del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo o el Índice de Sostenibilidad Ambiental de la Universidad de Yale). (Schuschny & Soto, 2009).

Ahora bien, según Escobar (2006), los indicadores deben cumplir criterios para que puedan ser seleccionables y, sobre todo, deben describir un resultado final que atañe a la preocupación social. Entre los principales criterios que deben cumplir los indicadores destacan los siguientes: a) Referir a una unidad de análisis delimitada por un espacio y un tiempo definido, que permita hacer una comparación temporal y entre regiones. b) Tener validez científica, es decir su diseño debe contar con respaldo científico de la causalidad y presentar atributos bien fundamentados. Y c) Ser sensibles a cambios y ser predictivos, de forma que presenten tendencias futuras de lo que se mide (Escobar, 2006).

#### 4.3. Rendimiento Ambiental vs Condición Ambiental

En trabajo publicado por Jasch (2000), se define la evaluación del rendimiento ambiental como un proceso interno y una herramienta de gestión que provee información medible y verificable para determinar a través de indicadores el rendimiento de una organización o un sistema.

Según el autor, existen dos tipos de indicadores: indicadores de rendimiento ambiental [*Environmental Performance Indicators, EPI's*] e indicadores de condición ambiental [*Environmental Condition Indicators ECI's*]; los primeros, *EPI's* proveen información sobre los esfuerzos regulatorios en materia de políticas, personas, prácticas, decisiones, procedimientos; mientras que los *ECI's* proveen información sobre la condición del ambiente, es decir el estado inicial y la descripción del medio, que dan pie a la operación de los *EPI's*. (Jasch, 2000).

Se puede afirmar entonces que la medición de eficiencia del transporte, en términos de emisiones de carbono por kilómetro, es solamente un indicador, tomando en cuenta que el transporte es un sistema menor dentro del sistema económico, que mantiene relaciones de transferencia de energía entre otros sistemas, y que no representa como tal un valor de rendimiento.

Ahora bien, para estimar el rendimiento ambiental de un sistema, por ejemplo, el sistema de transporte ligero en una comunidad urbana; las variables a considerar serán: número de unidades que conforman el sistema y cantidad de energía que fluye dentro y fuera del sistema.

Entre los estudios realizados para evaluar el rendimiento ambiental de los sistemas de transporte, está el realizado por Lara, Miguel & Montes (2015). En dicho trabajo los autores plantean que los análisis de costo-beneficio, de vulnerabilidad ambiental y de impacto ambiental, entre otros, no son considerados como sistemas de monitoreo debido al carácter fundamentalmente prospectivo y no retrospectivo de tales enfoques (Soria-Lara & Valenzuela, 2014). Su propuesta alternativa es un modelo conceptual que integra las externalidades positivas y negativas que el transporte genera al ciudadano, entre las últimas consideran la calidad del sistema atmosférico, a lo que llaman nivel ambiental; evalúan los costos de contingencia de cada uno (Soria-Lara & Valenzuela, 2014).

Otra evaluación de la eficiencia de diversos sistemas de transporte terrestre de personas es la de Hongwei, Qingyuan, & Junfei (2016). En dicho trabajo se mide la eficiencia ambiental de dos sistemas de transporte terrestre [ferroviario y carretero] durante el período comprendido del 2009 al 2012, tomando en consideración 30 provincias chinas. Sus variables de entradas fueron distancia de la vía férrea, número de locomotoras, en el caso de transporte ferroviario y número de automóviles, personas transportadas, kilómetros recorrido en el caso del transporte carretero, además de la energía consumida en ambos tipos de transporte; y las variables de salida fueron el dióxido de carbono generado y la cantidad de kilómetros recorridos por persona.

Los estudios hasta aquí descritos dan cuenta del interés que existe por interiorizar las externalidades del sistema económico, esfuerzos que han empezado a realizarse adoptando ópticas analíticas diversas. Sin embargo, son pocos los trabajos que integran el rendimiento ambiental y menos los que abordan los flujos de energía en los sistemas objeto de estudio.

El análisis de la eficiencia en relación con la entalpía en las actividades económicas de los sistemas de transporte terrestre de personas es mínimo, aristas de investigación que aún tienen mucho que aportar.

Como hemos visto en los capítulos previos, es importante integrar a la ecuación analítica de los sistemas económicos, su vinculación e interacciones con los demás sistemas atmosférico, social y ecológico, que dan forma y constituyen la biósfera y el ambiente humano. Entender como fluye la energía y la materia de un sistema a otro permitirá conocer el estado general del sistema y por lo tanto su rendimiento, información útil para orientar la toma de decisiones a escala local, regional y nacional, a favor del ambiente humano. De ahí el interés por generar una herramienta metodológica que permita interiorizar las externalidades de un sistema económico, partiendo de las propuestas teóricas emanadas del enfoque ecointegrador y conceptos relacionados con el cambio energético del sistema social, para construir un indicador de rendimiento ambiental que coadyuve al desarrollo de esta línea de investigación.



## **5. ACERCAMIENTO METODOLÓGICO PARA LA ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO AMBIENTAL**

Como se ha planteado en los capítulos previos, el análisis económico convencional del sistema de movilidad urbana basa sus resultados en fuentes secundarias de energía (consumo de combustibles) por distancia recorrida y personas transportadas; por lo mismo, las metodologías que utilizan y sus resultados son muy limitados respecto de los planteamientos y metodologías de carácter multisistémico sugeridos por la economía ecológica y el enfoque ecointegrador. En esta última perspectiva, se sugiere desarrollar modelos que integren en sus variables los flujos e interacciones sistémicas de las variables del sistema de movilidad urbana en observación, por ejemplo, la energía necesaria para generar la renta necesaria para adquirir los bienes y servicios que hacen funcionar el sistema, pero también las pérdidas energéticas propias de la tecnología en el sistema así como el costo energético de las externalidades. Para facilitar esa integración de lo ambiental al análisis de los sistemas económicos, y particularmente para visibilizar los flujos energéticos de referencia que tienen lugar en determinado sistema, se recomienda utilizar diagramas de flujo al diseñar los modelos de análisis. Según Naredo (2003), los diagramas constituyen una herramienta o instrumento de representación que bien pueden ayudar a visibilizar los flujos existentes entre materia y energía, además, posibilitar integrar los polos extremos (procesos extractivos y productivos), así como las etapas de mitigación y reciclaje involucradas. Recordemos que el fin de valorar una situación respecto determinado objeto de estudio es orientar las acciones posibles y necesarias de tomar con fines de prevención, restauración y/o mitigación de los problemas que se manifiestan en el medio, entorno o ambiente humano.

En los capítulos previos se ha descrito un panorama limitado en los estudios de rendimiento ambiental, son pocos los que integren las dimensiones económicas, política, cultural y ecológica. Por lo mismo, la información que regularmente ofrecen los indicadores resultantes es parcial y por tanto poco confiable para orientar las decisiones de los tomadores de decisiones en la materia. En el caso que nos ocupa, el SPMU, tal situación ha favorecido la consolidación de sistemas de transporte de bajo rendimiento ambiental, con altos costos económicos y sociales, y crecientes alteraciones negativas sobre otros sistemas del ambiente humano. En el caso de la ciudad de Hermosillo, Sonora, México, ubicada al noroeste del país, las tasas de crecimiento del transporte

privado superan a las de otros medios de transporte y se traducen en un aumento significativo de las emisiones de carbono a la atmósfera.

Esta investigación pretende contribuir a subsanar el vacío metodológico inherente de la economía convencional, al estudiar el rendimiento ambiental de un sistema económico. Se introduce a los balances económicos y ambientales, externalidades que no llegan a ser objeto de cambio o propiedad, como son las emisiones de carbono por consumo de energía en fuentes móviles, concretamente por el uso del automóvil privado para el transporte de personas en zonas urbanas.

Con estos referentes se justifica la necesidad de identificar y valorar los flujos de energía en un sistema en interacción con otros sistemas del ambiente humano. La estructura conceptual que orienta el estudio es de carácter sistémico y se retoma el enfoque integrador como guía para la interpretación y análisis de resultados.

El eje central del procedimiento metodológico es la construcción de un índice de rendimiento ambiental cuya intención analítica es de carácter aplicativo, debido a la necesidad de proveer información integral del rendimiento de los sistemas motorizados de transporte urbano.

Se plantea como hipótesis que el Rendimiento Ambiental del SPMU es dado por el cambio de energía en el sistema y la valoración de la energía disipada en sistemas adyacentes e incide directamente en el desarrollo regional sostenible. Su correspondiente comprobación remite al análisis complejo de un hecho real, en un espacio-tiempo determinado, en este caso, el territorio seleccionado fue el municipio de Hermosillo y el objeto de estudio los vehículos motorizados de carácter privado de dicha ciudad, destinados al transporte de personas. El período de análisis comprende todos los meses comprendidos de enero del 2005 a enero del 2015.

Importa precisar que los datos posteriores al periodo establecido se excluyeron debido a los cambios económicos presentados, tales cambios afectaron al sector y los datos oficiales empezaron a ser más escasos y confusos. Entre los cambios más importantes están las variaciones constantes que presentó el precio de los combustibles debido al retiro gradual del subsidio a las gasolinas y a los combustibles en el país, hubo también cierta homologación de precios con los países de donde se exporta la gasolina, además del proceso de reforma energética que facilitó introducir ofertantes de combustible de origen extranjero.

A continuación, la metodología propuesta para dar respuesta a las preguntas de investigación, objetivos e hipótesis de esta investigación, en atención al caso empírico de referencia.

## 5.1. Elementos Considerados para la Construcción del IRA.

### 5.1.1. Concepto operativo: “Rendimiento Ambiental” y selección de variables

El concepto/constructo “Rendimiento ambiental” incluye el análisis de las relaciones entre sistema ecológico, sistema económico y sistema atmosférico, admitiendo que pueden existir otros sistemas embebidos en el medio que para el caso de la presente investigación no se incluirán y que, sin embargo, forman parte del ambiente humano. En este caso se tomarán en cuenta para el análisis, variables cuantitativas, numéricas de razón, con orden, origen y distancia, divididas en dos grandes categorías: Datos de actividad y Datos de rendimiento (imagen 23).

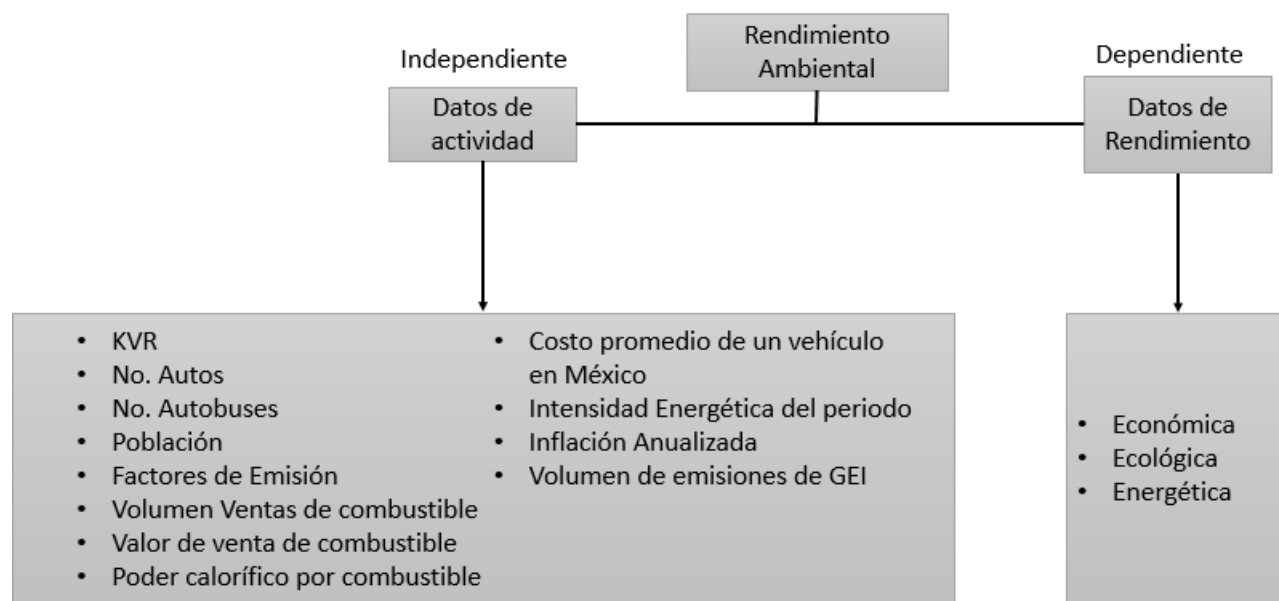


Imagen 23. Concepto operativo: “Rendimiento Ambiental”, del sistema motorizado de transporte de personas en zonas urbanas. Elaboración propia.

Fuente: Elaboración propia.

Del análisis de las variables dependientes, una vez homologadas, se estimarán los indicadores de rendimiento ecológico, económico y energético (cuadro 3).

<b>Concept-constructo</b>	<b>Variable observable</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Valores finales</b>	<b>Tipo de variable</b>
Rendimiento Ambiental	Rendimiento Energético	IR <sup>Energético</sup>	Adimensional	Cuantitativa, Continuas, numéricas de razón
	Rendimiento Económico	IR <sup>Económico</sup>	Adimensional	
	Rendimiento Ecológico	IR <sup>Ecológico</sup>	Adimensional	

Cuadro 3. Matriz de seguimiento para la construcción del indicador de Rendimiento Ambiental.  
Fuente: Elaboración propia.

## 5.2. Objetivo Específico 1.

### 5.2.1. Energía y Emisiones de CO<sub>2</sub> Derivado de la Quema de Combustible en Fuentes Móviles (Automóviles) en Hermosillo, Sonora; 2005-2015.

Para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub>, se consideraron las Directrices del IPCC 2006 para inventarios nacionales de GEI, Volumen 2: Energía, Capítulo 3: combustión móvil. El documento explica los pasos a seguir para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, provenientes de la quema de gasolinas para el uso del automóvil (Davies et al., 2006).

Para el caso particular del presente inventario y por concordancia con las demás etapas de la investigación, únicamente se tomaron en cuenta las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la quema de combustible (Gasolinas PEMEX Magna y Premium), en el periodo comprendido entre los años 2005 y 2015.

El primer paso para desarrollar la presente tarea, es recopilar la información necesaria para la estimación de las emisiones de dióxido de carbono, partiendo del árbol de decisión para las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la quema de combustible en los vehículos terrestres (Imagen 24)

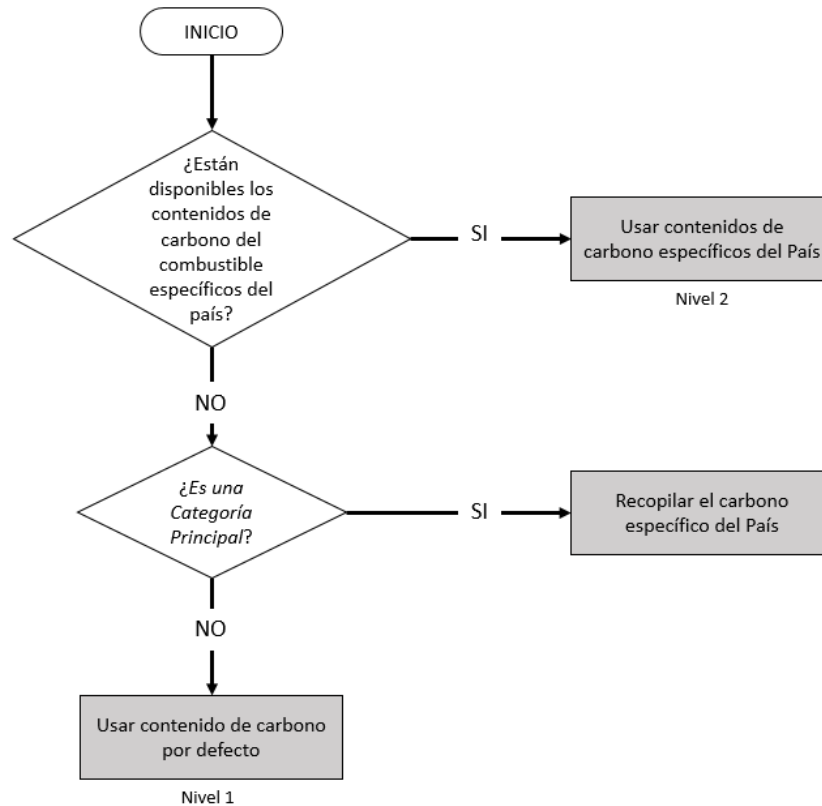


Imagen 24. Árbol de decisión para las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la quema de combustible en los vehículos terrestres.

Fuente: Recuperado de las Directrices IPCC, 2006, para la elaboración de inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Vol. 2, Capítulo 3.

De acuerdo con Davies et al., (2006), las emisiones derivadas del transporte terrestre se pueden estimar basándose en conjuntos de datos independientes, pudiendo ser estos el combustible vendido o los kilómetros recorridos por el vehículo. Sin embargo, al carecer de información detallada sobre los datos de actividad del transporte en Hermosillo, Sonora, para el periodo determinado, se utilizaron datos referentes a ventas de combustibles, proporcionados por el Sistema de Información Energética de la Secretaría de Energía (SENER, 2017).

Las emisiones derivadas de la quema de combustible en automóviles de acuerdo a las directrices IPCC 2006, deben atribuirse al país en el que se vende el combustible, en este caso, al Municipio de Hermosillo. Para esto, fue necesario hacer un ajuste de las estadísticas de ventas de combustibles, específicamente gasolinas de las marcas PEMEX Magna y PEMEX Premium (en lo sucesivo P. Magna y P. Premium), ya que estas ventas están reportadas por cada terminal de distribución, por lo que se requirió hacer una sumatoria de todo el volumen de ventas de cada una de las terminales de distribución en el estado, con la finalidad de conocer las ventas totales.

De manera paralela, se recuperaron del Sistema Estatal y Municipal de Bases de Datos (SIMBAD) del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI, 2017b), las estadísticas referentes al número de automóviles registrados y en circulación en cada uno de los municipios de Sonora.

Bajo el supuesto: “*el valor porcentual de vehículos registrados que ocupa el municipio de Hermosillo a nivel estatal, será igual al valor porcentual de ventas de combustible del Municipio en Sonora, Mex.*” se determinó el volumen de ventas de combustible en el municipio para el periodo determinado (cuadro 4).

AÑO	Ventas de gasolinas (millones de litros)		AÑO	Ventas de gasolinas (millones de litros)	
	P. Magna	P. Premium		P. Magna	P. Premium
2005	312.37	82.75	2011	431.31	40.60
2006	334.14	87.67	2012	445.80	65.38
2007	371.14	72.25	2013	411.02	79.57
2008	397.81	57.09	2014	394.28	87.30
2009	405.09	35.54	2015	396.98	89.99
2010	405.04	40.60	2016	N.D.	N.D.

Cuadro 4. Volumen de ventas de gasolinas en Hermosillo, Sonora 2005-2015

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Sistema de Información Energética SENER, 2017.

Las Directrices IPCC 2006, explican que existen tres niveles de profundidad para la estimación del inventario (*Tier 1,2 y3*). El método para el Nivel 1, consiste en calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> proveniente de la quema de combustible, multiplicando el combustible estimado que se vendió en el periodo por un factor de emisión por defecto, proporcionado por dichas directrices (ecuación 2). Esta situación se presenta cuando en la región donde se realiza el inventario, no cuenta con datos específicos acerca del contenido de carbono del combustible (Davies et al., 2006).

$$Emisión = \sum_a Combustible_a * EF_a$$

Ecuación 2. Ecuación para calcular el CO<sub>2</sub> del transporte terrestre.

Fuente: Recuperada de las Directrices IPCC, 2006, para la elaboración de inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Vol. 2. Capítulo 3.

Donde:

- Emisión = Emisiones de CO<sub>2</sub> (kg)
- Combustible<sub>a</sub> = Combustible Vendido (Tj)
- EF<sub>a</sub> = Factor de emisión (kg/Tj). Es igual al contenido de carbono del combustible multiplicado por 44/12
- a = tipo de combustible (p. ej., gasolina, diésel, gas natural, GLP, etc.)

Sin embargo, para el caso del presente inventario, se recuperaron factores de emisión propios para los combustibles en México, publicados por el Instituto Nacional de Ecología, en la publicación *“Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México”* (INECC, 2014) Informe técnico final presentado para el INECC por la Dirección de Servicios de Ingeniería, del Instituto Mexicano del Petróleo en diciembre de 2014 (cuadro 5).

Muestra	Densidad Kg/litro	Contenido de Carbono % Peso	PCN MJ/kg	Contenido de Carbono Kg C/GJ	Factores de emisión		
					KgCO <sub>2</sub> /TJ	KgCO <sub>2</sub> / kg Comb.	KgCO <sub>2</sub> /Litro Comb.
Promedio P. Magna y P. Premium	0.739	85.72	42.57	20.14	73,791.164	3.139	2.322

Cuadro 5. Factores de emisión para gasolinas en México

Recuperado de “Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles que se consumen en México (INECC, 2014)

En consecuencia y con base en el árbol de decisión para las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la quema de combustible en los vehículos terrestres, se tomó la decisión de desarrollar un inventario *Tier 2*. Sin embargo, para poder desarrollar el inventario, primeramente, fue necesario ajustar los datos, con la finalidad de asegurar concordancia con la ecuación para la estimación de emisiones de dióxido de carbono mostrada anteriormente.

5.2.1.1. Homologación de unidades: Conversión de unidades de volumen (litros) a unidades de energía (Tera Joules). Inicialmente los datos referentes a la venta de combustibles se estimaron en litros por lo que es necesario, como primer paso, convertir las unidades de volumen en litros (l) a unidades de energía en, Tera Joules (TJ). Para este procedimiento, es necesario conocer la cantidad de energía relativa contenida en cada unidad de combustible. Para esto se toma como referencia el Poder Calorífico Neto (PCN). De acuerdo con el Balance Nacional de Energía (BNE) 2017, el PCN es: “la cantidad de calor que se produce en la combustión, excluyendo el calor no recuperable”(SENER, 2018).

El PCN es igual a la cantidad de calor que se puede recuperar en un proceso de combustión y que genera un trabajo. Para esto, el BNE, presenta estadísticas anuales referentes al PCN de los combustibles consumidos en México (cuadro 6).

AÑO	PCN (MJ/Bl)	AÑO	PCN (MJ/Bl)
2005	4,872	2011	5,147
2006	4,872	2012	5,122
2007	5,025	2013	5,122
2008	5,542	2014	5,134
2009	5,182	2015	5,176
2010	5,097	2016	5,164

Cuadro 6. Poder Calorífico Neto de las gasolinas en México.

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Balance Nacional de Energía 2012 y 2018.

Las unidades de PCN en el BNE están dadas en Mega Joule (MJ) por Barril equivalente de petróleo (Bl). Un Bl equivale a 158.9 litros, de acuerdo al BNE, por lo tanto el primer paso para convertir las unidades de volumen es cambiar de litros a Bl, dividiendo el total de combustible entre 158.9 (SENER, 2015) y posteriormente dividirlo entre  $1 \times 10^6$  para convertir MJ a TJ (ecuación 3)

$$Q_{gasolinas}_{a,b} = \frac{[Litros_{a,b}/158.9] * PCN_b}{1,000,000}$$

Ecuación 3. Ecuación para calcular la energía contenida en las gasolinas en Tera Joules.

Fuente: Elaboración propia



Donde:

$Q^{\text{gasolinas}}_{a, b}$	= Energía contenida en la gasolina de acuerdo al PCN por tipo de combustible y año
Litros <sub>a, b</sub>	= Litros de combustible vendidos, por tipo de combustible y año
PCN <sub>b</sub>	= Poder Calorífico Neto, por año
A	= tipo de combustible (p. ej., gasolina P. Magna o P. Premium)
B	= Año

Una vez estimada la energía contenida en el combustible consumido, se estima la cantidad de dióxido de carbono que se genera en el periodo con base en la ecuación para calcular el CO<sub>2</sub> del transporte terrestre (véase ecuación 2)

### **5.2.2. Emisiones de CO<sub>2</sub>, Derivadas de la Compra de Bienes Energéticos (Gasolinas) y de Transporte (Automóviles) en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.**

Con la finalidad de conocer las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la quema de combustibles para generar la energía necesaria para adquirir bienes y servicios, en este caso la gasolina que requiere la operación de los automóviles y la compra de dichos automóviles en Hermosillo, Sonora, en el periodo comprendido entre los años 2005 y 2015. Se tomó como referencia la cantidad de energía que se puede adquirir por un peso en el mercado, pudiendo ser esta energía eléctrica, en el caso de la energía para adquirir bienes energéticos y de transporte, y energía fósil, es decir energía proveniente de gasolinas, para el caso de las emisiones provenientes de la quema de combustibles en fuentes móviles (automóviles) (cuadro 7).

Como se mencionó anteriormente la energía para adquirir bienes y servicios, es la cantidad de energía transformada para realizar un trabajo que se manifiesta en forma de un bien o un servicio que posteriormente es comercializado en el mercado, por lo que el precio natural del bien o servicio lleva consigo el valor de la energía.

AÑO	CFE	KJ/Pesos MAGNA	PREMIUM
-----	-----	-------------------	---------

2005	3,201.30	4,875.57	4,134.28
2006	2,916.62	4,610.94	3,907.73
2007	2,803.93	4,555.28	3,728.07
2008	2,517.93	4,825.15	3,888.30
2009	2,739.19	4,277.09	3,457.18
2010	2,515.21	3,899.09	3,270.27
2011	2,346.53	3,530.43	3,144.27
2012	2,228.82	3,159.34	2,960.91
2013	2,179.87	2,828.86	2,686.31
2014	2,116.46	2,560.08	2,416.55
2015	2,260.47	2,467.07	2,310.69

Cuadro 7. Volumen de energía que se adquiere por un peso en México, en función de los precios de mercado presentados por la Secretaría de Energía.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.1. Contenido de energía en bienes energéticos y de transporte. Primeramente, para conocer las emisiones dióxido de carbono derivadas de la quema de combustible para generar la cantidad de dinero necesaria para adquirir bienes energéticos y de transporte, es necesario conocer la cantidad de dinero que se invirtió en la compra de dichos bienes. Para esto, se recuperaron los precios unitarios de los combustibles utilizados para los automóviles en el Municipio en el periodo comprendido, al igual que los precios promedio de los automóviles.

Como se ha venido mencionando, de acuerdo con el Sistema de Información Energética, en México, sin ser la excepción el municipio de interés, las gasolinas que se vendieron en el periodo fueron de las marcas PEMEX Magna y PEMEX Premium, cuya evolución de precios se muestra en el cuadro 8

AÑO	Precio Unitario Promedio (\$/L)		AÑO	Precio Unitario Promedio (\$/L)	
	P. Magna	P. Premium		P. Magna	P. Premium
2005	6.29	7.42	2011	9.17	10.30
2006	6.65	7.85	2012	10.20	10.89
2007	6.94	8.48	2013	11.39	12.00
2008	7.23	8.97	2014	12.62	13.37
2009	7.62	9.43	2015	13.20	14.10
2010	8.23	9.81	2016	N.D.	N.D.

Cuadro 8. Precio unitario de los combustibles en México 2005-2015

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Sistema de Información Energética SENER, 2017.

Por otro lado, el Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI) presenta periódicamente el costo promedio para adquirir un vehículo, en diferentes municipios del país, entre estos Hermosillo,

Sonora, esto se da a través de la Consulta en línea de precios promedio del INPC publicados en el Diario Oficial de la Federación mensualmente(INEGI, 2017a) y que se muestran en el cuadro 9.

AÑO	\$/Vehículo	AÑO	\$/Vehículo)
2005	156,307.92	2011	204,245.88
2006	162,905.59	2012	211,807.40
2007	169,270.15	2013	220,563.79
2008	181,095.70	2014	229,945.57
2009	187,800.16	2015	234,950.00
2010	196,443.69	2016	N.D.

Cuadro 9. Precio unitario de los vehículos en Hermosillo 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI, (2017).

De acuerdo con la Comisión Nacional Bancaria y de Valores, (2019), en México se ha mantenido una tasa promedio de interés al crédito automotriz del 12.6 durante el periodo de análisis(CNBV, 2019); por otro lado de acuerdo con la misma institución en 2015, más del 60 por ciento de los automóviles se adquieren vía autofinanciamiento (CNBV, 2015). Tomando en cuenta esto y, partiendo de supuesto de que los automóviles registrados, se adquirieron a un plazo máximo de 60 meses (5años) con un pago inicial del 10%, se estima un gasto anual promedio por año en el periodo (véase cuadro 10).

AÑO	P. U. Vehículo	Pago Mensual	Pago Anual	AÑO	P. U. Vehículo	Pago Mensual	Pago Anual
2005	156,307.92	3,647.92	59,405.83	2011	204,245.88	4,766.7	32,100.01
2006	162,905.59	3,801.90	40,608.21	2012	211,807.40	4,717.96	35,169.20
2007	169,270.15	3,950.43	36,794.34	2013	220,563.79	5,147.53	34,890.88
2008	181,095.70	4,226.42	34,698.64	2014	229,945.57	5,366.48	33,735.35
2009	187,800.16	4,382.89	33,568.69	2015	234,950.00	5,483.27	32,138.55
2010	196,443.69	4,584.61	32,668.69	2016	N.D.	N.D.	N.D.

**\*Nota aclaratoria:** los cálculos para estimar el pago anual por vehículo se hicieron con el precio base del año 2005

Cuadro 10. Valores estimados para el costo anual total de un vehículo en circulación, año base 2005.

Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI, 2018, CNBV, 2019.

Finalmente, para conocer la cantidad de energía que se requirió para adquirir bienes de energéticos y de transporte, de acuerdo con la presente metodología, se utilizó la ecuación 4.

$$Q_{a,b}^{B.Energéticos - B.Transporte} = \frac{(BC_{a,b} * C.A._{a,b}) * KJ/\$^{F.F.} \cdot b}{1000}$$

Ecuación 4. Ecuación para determinar la energía necesaria para adquirir bienes energéticos y de transporte.

Fuente: Elaboración propia

Donde:

- QB.Energéticos- = Cantidad de energía que se generó para generar el dinero necesario  
 B.Transporte a, b para adquirir bienes de consumo por tipo de combustible y año (MJ)  
 BC a, b = Bienes de consumo (L de gasolina o Número de Autos), por año.  
 C.A. a, b = Costo anual de bienes energéticos o de transporte  
 KJ/\$F:F b = Volumen de energía que se puede adquirir por un peso, en forma de energía eléctrica o calor proveniente de fuentes fijas.  
 A = tipo de combustible (p. ej., gasolina P. Magna o P. Premium)  
 B = Año

Cálculo de Emisiones Provenientes de la Quema de Combustibles para Generar la Energía para Adquirir Bienes Energéticos y de Transporte.

De acuerdo con la Secretaría de Energía, (2019), en México, se utilizaron cuatro tipos de combustibles para la generación de electricidad, Combustóleo, Diésel, Carbón y Gas Natural, siendo así que la aportación porcentual de cada uno, varió año con año como se muestra en el cuadro 11 (SENER, 2019a).

AÑO	APORTACIÓN PORCENTUAL %			
	Combustóleo	Diésel	Carbón	Gas Natural
2005	65.322	1.320	33.321	0.037
2006	60.312	1.688	37.953	0.047
2007	60.582	0.975	38.397	0.046
2008	65.265	1.560	33.119	0.056
2009	58.189	2.036	39.714	0.061
2010	54.380	2.054	43.506	0.060
2011	55.952	2.367	41.620	0.061
2012	58.764	3.074	38.156	0.007

2013	54.940	3.029	41.950	0.081
2014	43.452	2.388	54.058	0.101
2015	40.098	2.277	57.503	0.122

Cuadro 11. Consumo por tipo de combustible para la generación de electricidad en México 2005-2015.  
Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Secretaría de Energía, (2019).

Con base en el cuadro 11 se puede estimar el origen de la energía para la adquisición de bienes energéticos y de transporte para cada año y por tipo de combustible, basados en la ecuación 5.

$$Q^{Fuente}_{a,b} = \left( \frac{Aportacion\ Porcentual(\%)_{a,b}}{100} \right) * Q^{Bienes}_{a,b}$$

Ecuación 5. Ecuación para determinar el tipo de combustible que se carburó para generar la energía necesaria para adquirir bienes energéticos y de transporte.

Fuente: Elaboración propia

Donde:

- $Q^{Fuente}_{a,b}$  = Tipo de combustible que se carburó para generar la energía necesaria para adquirir bienes y servicio por tipo de combustible y año (MJ)
- Aportación Porcentual  $_{a,b}$  = Porcentaje de combustible utilizado para generar electricidad en el año por tipo de combustible (%).
- $Q^{Bienes}_{a,b}$  = Cantidad de energía que se generó para generar el dinero necesario para adquirir bienes de consumo por tipo de combustible y año (MJ)
- A = tipo de combustible (p. ej., gasolina P. Magna o P. Premium, Combustóleo, Diésel, Carbón o Gas Natural)
- B = Año

Una vez conocido el origen de la energía necesaria para adquirir bienes energéticos y de transporte por tipo de combustible, se toman como referencia los factores de emisión de dióxido de carbono propuestos por el INECC, (2014) para cada uno de los combustibles determinados por la SENER, (2019) y que se recuperaron para la presente investigación (cuadro 12).

<b>Combustible</b>	<b>Factor de Emisión de CO<sub>2</sub> (KgCO<sub>2</sub>/TJ)</b>
Combustóleo	79,450.29
Diésel	72,850.29
Carbón	127,907.45
Gas Natural	57,755.93

Cuadro 12. Factores de emisión para diferentes combustibles en México

Fuente: Recuperado de “Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles que se consumen en México (INECC, 2014)

Finalmente para calcular las emisiones de dióxido de carbono derivadas de la quema de combustible para la generación de energía para adquirir bienes energéticos y de transporte, se toma como referencia la ecuación nivel 2 para Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Procedentes de la Combustión Estacionaria de las Directrices del IPCC 2006 para la elaboración de inventarios naciones de gases de efecto invernadero volumen 2: Energía, Capítulo 2: fuentes fijas (Gómez et al., 2006).

#### Energía Contendida en las Externalidades (CO<sub>2</sub>)

Para esto, la medición de los cambios de la energía, que son de interés para la elaboración de balances de energía de procesos unitarios, requiere un método que pueda ser general para diferentes sistemas. Dicha generalidad se obtiene a partir del uso de una propiedad termodinámica como la capacidad calorífica (Incropera et al., 1993).

La capacidad calorífica a presión constante o  $C_p$  es la razón de cambio de la entalpía en un sistema respecto a la temperatura y que se da a una presión constante. De igual manera, es la cantidad de calor requerida para aumentar la temperatura de cualquier sustancia en un grado centígrado (Incropera et al., 1993).

Por otro lado, la capacidad calorífica de los gases reales, se da en función de la presión y la temperatura, sin embargo, de acuerdo con Incropera et al, (1993) la presión puede ser mínima, quedando únicamente en función de la temperatura.

Según la literatura revisada, en promedio, la temperatura de los gases de combustión de un automóvil, rondan los 500°C, (Scheibe, 2009) por lo cual, para la presente investigación se estimará la energía que cede el dióxido de carbono a una temperatura inicial de 500°C hasta

alcanzar la temperatura máxima media registrada en Hermosillo, Son. (temperatura final) en el año de estudio (cuadro 13) tomando como valor de referencia el calor específico a presión constante ( $C_p^0$ ) del dióxido de carbono a la temperatura del municipio para el año en cuestión, (Manufacturing Chemists' Association (U.S.), 1955); mientras que para las emisiones procedentes de fuentes fijas ( $CO_2$  generado por la quema de combustibles para producir energía para adquirir bienes energéticos y de transporte), se toma en cuenta una temperatura promedio de los gases de combustión de  $260^\circ C$  o  $533.15 K$ , y un  $C_p^0$  equivalente a la temperatura media nacional

AÑO	Nacional	$C_p^0$ (J/mol*K)	Hermosillo	$C_p^0$ (J/mol*K)
2005	21.40	847.344	32.4	857.88
2006	21.90	847.824	32.4	857.88
2007	21.80	847.728	33.4	858.83
2008	21.40	847.344	33.4	858.83
2009	21.80	847.728	34.2	859.59
2010	21.00	846.96	33.5	858.925
2011	21.80	847.728	34.4	859.78
2012	21.90	847.824	34.8	860.16
2013	21.90	847.824	34	859.4
2014	22.10	848.016	34.8	860.16
2015	22.10	848.016	33.9	859.305

Cuadro 13. Temperatura máxima media en Hermosillo, Sonora y temperatura media en México a nivel nacional 2005-2015 y valores de capacidad calorífica a presión constante.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la CNA, 2018.

Para estimar la cantidad de energía que el sistema de transporte cede al medio ambiente se desarrolla la ecuación 6.

$$Q^{CO_2}_{b,c} = \frac{\left(\frac{Emisión_{b,c}}{44g/mol}\right) * (C_p^0 CO_2^{T.M.^{\circ}C} * (T_2 - T_1))}{1000}$$

Ecuación 6. Ecuación para determinar la energía que el sistema cede al medio en forma de dióxido de carbono con valores de capacidad calorífica a la temperatura media donde se hizo la emisión y presión constante.

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$Q^{CO_2}_{b,c}$	= Energía contenida en el dióxido de carbono generado por año y origen de la emisión (MJ)
Emisión $_{b,c}$	= Emisiones de dióxido de carbono por año y origen de la emisión (g)
$C_P^{0CO_2^{25^\circ C}}$	= Capacidad calorífica a presión constante del dióxido de carbono a la temperatura media de la región donde se generó la emisión(J/mol*K)
$T_1$	= Temperatura Inicial
$T_2$	= Temperatura final
B	= Año
C	= Origen de la emisión o de la energía (p. ej. Emisiones o energía provenientes de la quema de combustible para adquirir bienes energéticos o de transporte, emisiones provenientes de la quema de combustible para el transporte terrestre)
44g/mol	= Peso molecular del dióxido de carbono

Finalmente, una vez conocidas tanto las emisiones provenientes por la quema del combustible en el transporte, así como las emitidas para generar la energía necesaria para adquirir bienes energéticos y de transporte, así como la energía que el sistema cede al sistema atmósfera mediante las emisiones de carbono, es posible realizar un balance de energía tal y como lo supone el objetivo específico 3 con el propósito de conocer los flujos de energía y materia en el sistema.

Sin embargo, para la elaboración del balance de materia, consideramos adecuado emplear los flujos de dinero a través del sistema, como materia que atraviesa las fronteras de dicho sistema. Por lo cual, el siguiente paso nos obliga a asignar valor a la energía que fluye entre los sistemas en cuestión (imagen 25).

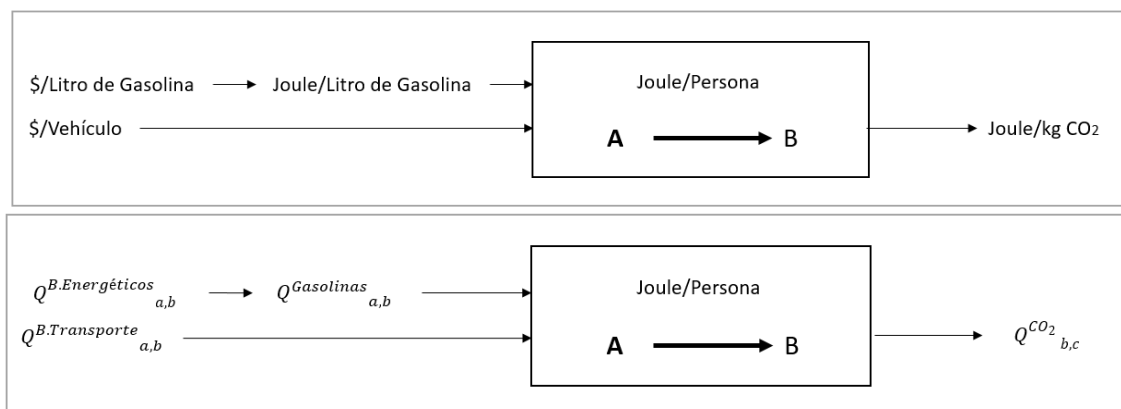


Imagen 25. Esquematización del balance de energía del sistema de movilidad urbana; uso del automóvil privado para el transporte de personas.

Fuente: Elaboración propia.



### 5.3. Objetivo Específico 2

#### 5.3.1. Valoración de la Energía entre Sistemas

Para valorar los flujos de energía entre sistemas (SPMU, Atmósfera y Ecosistema), primero se tomó en cuenta el volumen de energía disipada a través de los gases de combustión, por un lado, dividido entre el volumen de energía que se pudo adquirir en un periodo, con base en los precios ofertados en el mercado nacional y el origen de la energía o su uso final (ecuación 7).

$$P^2_{b,c} = \frac{Q^2_{b,c}}{KJ/\$^F_b}$$

Ecuación 7. Ecuación para estimar el valor económico de las pérdidas de energía disipada a la atmósfera basado en el volumen de energía que se pudo adquirir con \$1.00 por su forma, del año correspondiente.

Fuente: Elaboración propia

Donde:

$P^2_{b,c}$	= Precio estimado de las pérdidas de energía disipada a la atmósfera por origen de la emisión y año (\$)
$ECO_{2,b,c}$	= Energía contenida en el dióxido de carbono generado por año y origen de la emisión (MJ)
$KJ/\$^F_b$	= Volumen de energía que se puede adquirir por un peso, en forma de energía eléctrica o calor proveniente de fuentes fijas o energía en forma de gasolina para el uso del automóvil
B	= Año
C	= Origen de la emisión o de la energía (p. ej. Emisiones o energía provenientes de la quema de combustible para adquirir bienes energéticos o de transporte, emisiones provenientes de la quema de combustible para el transporte terrestre)
F	= Forma de la energía (p. ej. Energía eléctrica o calor, gasolinas)

Una vez valorada la energía en términos monetarios, es posible asignar un valor por volumen, con lo cual finalmente se pueden interiorizar las externalidades del sistema económico, en este caso las emisiones de dióxido de carbono en los balances económicos.

### 5.3.2. Valoración de las Emisiones de Carbono

La valoración de las emisiones de carbono, realizado el objetivo específico, es mediante una relación entre el valor neto de las emisiones de carbono (ecuación 8) y el volumen de emisiones de dióxido de carbono totales a la atmósfera (ecuación 2), como se muestra en la ecuación 8.

$$$/KgCO_{2\ p,c} = P^2_{\ b,c} / Emisiones_{\ b,c}$$

Ecuación 8. Ecuación para la valoración de un Kilogramo de dióxido de carbono, por tipo de fuente y periodo emitido

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$$/KgCO_{2\ p,c}$	Pesos por kilogramo de dióxido de carbono generado a la atmósfera, por origen de la emisión y año
$P^2_{\ b,c}$	= Precio estimado de las pérdidas de energía disipada a la atmósfera por origen de la emisión y año (\$)
$Emisiones_{\ b,c}$	= Volumen de emisiones de dióxido de carbono emitidas a la atmósfera, por origen de la emisión y año

### 5.4. Objetivo Específico 3

#### 5.4.1. Rendimiento Energético

Con la finalidad de determinar el rendimiento energético del sistema ( $R_{energético}$ ) se realizó un

balance de energía, es decir el volumen de energía que entra al sistema menos la energía que se pierde en forma de externalidades (ecuación 9).

$$R_{energético} = (100) - \frac{(\sum Q_{b,c}^2) * 100}{\sum Q_{a,b}^1}$$

Ecuación 9. Ecuación para determinar el rendimiento energético del sistema de transporte.

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$R_{energético}$	= Rendimiento energético del sistema (%)
$\sum Q_{b,c}^2$	= Sumatoria de la energía contenida en el dióxido de carbono generado por año y origen de la emisión (p. ej. $Q^2_{(Gasolinas)}$ $Q^2_{(B.Energéticos)}$ $Q^2_{(B.Transporte)}$ ) (MJ)
$\sum Q_{a,b}^1$	= Sumatoria de la energía que se produjo para generar el dinero necesario para adquirir bienes de transporte ( $Q_{B. Transporte}$ ) bienes energéticos ( $Q_{B. Energéticos}$ ) y la energía contenida en la gasolina ( $Q_{Gasolinas}$ ) por tipo de combustible
A	= Tipo de combustible (p. ej. P. Magna o P. Premium)
B	= Año
C	= Origen de la emisión o de la energía (p. ej. Emisiones o energía provenientes de la quema de combustible para adquirir bienes energéticos o de transporte, emisiones provenientes de la quema de combustible para el transporte terrestre)

#### 5.4.2. Rendimiento Económico

Una vez conocido el precio de las emisiones de dióxido de carbono, se puede estimar el rendimiento económico con base en la ecuación 10.

$$R_{económico} = \frac{(P^2_{b,c}) * 100}{\sum P^1_{b,c}}$$

Ecuación 10. Ecuación para estimar el rendimiento económico del sistema de transporte.  
Fuente: Elaboración propia

Donde:

$R_{económico}$	= Rendimiento económico del sistema (%)
$P^{CO_2}_{b,c}$	= Precio estimado de las emisiones de CO2 por origen de la emisión y año (\$)
$P^{B. Transporte}_b$	= Cantidad de dinero que se requirió para adquirir los vehículos del año que se evalúa
$P^{B. Energéticos}_b$	= Cantidad de dinero que se requirió para adquirir la gasolina de año que se evalúa
B	= Año
C	= Origen de la emisión o de la energía (p. ej. Emisiones o energía provenientes de la quema de combustible para adquirir bienes energéticos o de transporte, emisiones provenientes de la quema de combustible para el transporte terrestre)

### 5.4.3. Rendimiento Ecológico.

El rendimiento ecológico, se mide a través del incremento de la intensidad de emisiones de carbono a la atmósfera por habitante en la localidad, es decir, kilogramos de carbono emitidos a la atmósfera por persona, propiciado por el consumo de carbono de un automóvil.

Dicho valor, explica de manera cuantitativa a cuantas personas impacta de manera indirecta, el consumo de energía en fuentes fijas, a través del cálculo de la cantidad de carbono que se emite a la atmósfera correspondiente a cada habitante, sea que use o no, un automóvil y que además de contemplar la intensidad en las emisiones de carbono, se ven implicados el número relativo de personas que de manera indirecta incrementan su intensidad de emisiones.

$$R_{ecológico} = \frac{\sum_{a,b} CC^1}{No. de Autos_b} \bigg/ \frac{(12 * \sum_{a,b} CO_{2,b,c} / 44)}{No. de Habitantes_b}$$

Ecuación 11. Ecuación para estimar el rendimiento ecológico del sistema de transporte.  
Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$R_{\text{ecológico}}$	= Rendimiento ecológico del sistema ( $CC^1 * \text{Automóvil}^{-1} / CC^2 * \text{Persona}^{-1}$ )
$\sum_{a,b} CC^1$	= Volumen de carbono que se adquiere mediante bienes de energéticos, de transporte y el contenido en las gasolinas para el uso del automóvil (kg)
$\sum_{a,b} CC^2$	= Contenido de carbono de las emisiones de cada una de las variables en el sistema (Bienes energéticos, de transporte y gasolinas)
No. Habitantes	= Población total en la localidad a evaluar
No. Autos	= Cantidad de automóviles registrados en la localidad y el año a evaluar
A	= Tipo de combustible (p. ej. Gasolina P. Magna o P. Premium)
B	= Año
C	= Origen de la emisión o de la energía (p. ej. Emisiones o energía provenientes de la quema de combustible para adquirir bienes energéticos o de transporte, emisiones provenientes de la quema de combustible para el transporte terrestre)
44/12	Relación de carbono y oxígeno en la molécula de dióxido de carbono

5.4.3.1. Contenido de carbono. Como su nombre lo dice, el contenido de carbono es la cantidad de carbono  $C^{12}$  que existe en un volumen determinado de un combustible. Dichos contenidos de carbono, están reportados por el INECC, (2014) para cada uno de los combustibles en cuestión (cuadro 14).

Combustible	Densidad ( $\rho = \text{kg/L}$ y $\text{kg/m}^3$ )	Contenido de carbono (%)
Combustóleo	0.999	84.6
Diésel	0.826	85.83
Carbón	N.A.	77.15
Gas Natural(m3)	0.844	71.16

Cuadro 14. Densidad y contenido de carbono para los combustibles utilizados en México para la generación de Energía Eléctrica.

Fuente: Recuperado de "Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles que se consumen en México (INECC, 2014)

Para calcular el contenido de carbono de cada uno de los combustibles utilizados para generar la energía necesaria para adquirir bienes energéticos y de transporte, primeramente se debe conocer el volumen de combustible que se consumió para dicho proceso, esto se obtiene a partir de la

división del valor de  $Q^{Fuente}_{a,b}$  (MJ) de cada uno de los combustibles (Combustóleo, diésel, carbón o gas natural) entre el  $PCN_b$ . (cuadro 15), como se muestra en la serie de ecuaciones siguiente (ecuación 13)

$$Combust\acute{o}leo \text{ (litros)} = \frac{Q^{Fuente}_{Combustoleo}}{PCN_{combust\acute{o}leo}} * 158.9$$

$$Diesel \text{ (litros)} = \frac{Q^{Fuente}_{Diésel}}{PCN_{diésel}} * 158.9$$

$$Carb\acute{o}n \text{ (kg)} = \frac{Q^{Fuente}_{Carb\acute{o}n}}{PCN_{carb\acute{o}n}} * 1,000$$

$$Gas \text{ natural (m}^3\text{)} = \frac{Q^{Fuente}_{gas \text{ natural}} * 1,000}{PCN_{gas \text{ natural}}}$$

Ecuación 12. Serie de ecuaciones para estimar el volumen de combustible para generar la fracción de energía para adquirir bienes energéticos y de transporte correspondientes a cada tipo de combustible utilizado en el periodo.

Fuente: Elaboración propia

Donde:

Combustóleo (bl)	= Volumen de combustible en barriles equivalentes de petróleo, utilizados para generar la fracción de energía para adquirir bienes energéticos y de transporte correspondientes al combustóleo
Diésel (bl)	= Volumen de combustible en barriles equivalentes de petróleo, utilizados para generar la fracción de energía para adquirir bienes energéticos y de transporte correspondientes al diésel.
Carbón (kg)	= Volumen de combustible en kilogramos, utilizados para generar la fracción de energía para adquirir bienes energéticos y de transporte correspondientes al carbón.
Gas natural (m <sup>3</sup> )	= Volumen de combustible en metros cúbicos, utilizados para generar la fracción de energía para adquirir bienes energéticos y de transporte correspondientes al gas natural
PCN	= Poder calorífico neto para cada año por tipo de combustible
$Q^{Fuente}$	= Origen de la energía en MJ en el caso del combustóleo, diésel y carbón y KJ para el gas natural

AÑO	Combustóleo (MJ/bl)	Diésel (MJ/bl)	Carbón (MJ/Ton)	Gas Natural (Kj/m <sub>3</sub> )
2005	6,019	5,426	19,405	41,097
2006	6,019	5,426	19,405	41,693
2007	6,271	5,652	19,405	39,383
2008	6,429	5,952	19,405	38,675
2009	6,538	5,692	19,405	40,128
2010	6,364	5,681	19,432	38,875
2011	6,438	5,813	19,432	40,013
2012	6,324	5,650	19,432	40,319
2013	6,376	5,715	19,432	41,123
2014	6,296	6,620	19,432	41,041
2015	6,531	6,294	19,432	41,232

Cuadro 15. Poder calorífico neto para los combustibles utilizados en México para generar electricidad, 2005-2015

Fuente: Recuperado del Balance Nacional de energía 2009 y 2017

Finalmente, estimado el volumen de combustible de acuerdo a cada fracción, se tomó como referencia el valor de densidad, para pasar de unidades de volumen a unidades de masa, con excepción del carbón, para determinar el contenido de carbono con base en la ecuación 13.

$$CC^{B.Transporte-B.Energéticos}_{b,c} = vol. de combustible_{b,c} * \rho_c * \frac{C.C.c (\%)}{100}$$

Ecuación 13. Ecuación para estimar el contenido de carbono por tipo de combustible.

Fuente: Elaboración propia

Donde:

- $CC^{B.Transporte-B.Energéticos}_{b,c}$  = Contenido de carbono de la fracción de combustible utilizado para generar la energía para adquirir bienes energéticos y de transporte por tipo y año.
- Vol. De combustible  $_{b,c}$  = Volumen de combustible de la fracción utilizada para generar la energía para adquirir bienes energéticos y de transporte por tipo y año.
- C.C. (%)  $_c$  = Porcentaje de carbono por unidad de masa determinado por el INECC, (2014)
- B = Año
- C = Origen de la emisión o de la energía (p. ej. Emisiones o energía provenientes de la quema de combustible para adquirir bienes energéticos o de transporte, emisiones provenientes de la quema de combustible para el transporte terrestre)

De manera paralela, para estimar la cantidad de carbono contenido en las gasolinas  $CC_{\text{gasolinas}}$  se emplea la ecuación 13, sustituyendo los datos de densidad y de porcentaje de contenido de carbono, por los del cuadro 5.

#### 5.4.4. Índice de Rendimiento Ambiental

A continuación, se describen los indicadores asociados al rendimiento ambiental que pueden orientar la construcción de un Índice de Rendimiento Ambiental, con las características hasta aquí descritas, en relación con el uso del automóvil para el transporte de personas (unidad de análisis). Los indicadores que se presentan consideran el uso endosomático y exosomático de la energía para el transporte de personas, y pueden ser desagregados a diferentes escalas, precisamente para que puedan ser replicables y comparables en distintos casos y periodos.

5.4.4.1. Rendimiento ambiental. El valor del rendimiento ambiental se estima a través de un indicador sintético que va de 0 a 1, donde cuanto más cercano sea el valor obtenido a 0, menor será el rendimiento, y viceversa, mientras más cercano sea a 1, mayor es el rendimiento. Este índice se estima sumando el índice de rendimiento energético ( $IR^{\text{Energético}}$ ), el índice de rendimiento económico ( $IR^{\text{Económico}}$ ) y el índice de rendimiento ecológico ( $IR^{\text{Ecológico}}$ ) (véase ecuación 14).

$$IR^{\text{Ambiental}} = \frac{1}{3}IR^{\text{Energético}} + \frac{1}{3}IR^{\text{Económico}} + \frac{1}{3}IR^{\text{Ecológico}}$$

Ecuación 14. Ecuación para estimar el índice de rendimiento ambiental

Fuente: Elaboración propia.



Previo a estimar el índice de rendimiento ambiental, es necesario estimar el índice de rendimiento correspondiente a cada uno de las variables (energético, económico y energético) con base en la ecuación 15.

Para estimar el índice de rendimiento energético  $IR_{\text{energético}}$ , se toma como valor máximo ( $R_{\text{energético Max}}$ ) un porcentaje de rendimiento del 90%. Esto porque de acuerdo con las leyes de la termodinámica (2da ley), no existe un proceso con eficiencia perfecta, es decir, siempre existirán pérdidas de energía o energía no aprovechable de baja calidad. Por otro lado, como valor mínimo ( $R_{\text{energético Min}}$ ) se toma un porcentaje del 10%. Finalmente se utiliza la ecuación 14 para determinar  $IR_{\text{energético}}$ .

$$IR_{\text{Energético}} = \frac{\ln(R^{\text{Energético Real}}) - \ln(R^{\text{Energético. Min}})}{\ln(R^{\text{Energético. Max}}) - \ln(R^{\text{Energético. Min}})}$$

Ecuación 15. Ecuación para estimar el índice de rendimiento energético.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso del cálculo del  $IE^{\text{Económico}}$  se toman los mismos valores máximos y mínimos y se estima con base en la ecuación 16.

$$IR_{\text{Económico}} = \frac{\ln(R^{\text{Económico. Real}}) - \ln(R^{\text{Económico. Min}})}{\ln(R^{\text{Económico. Max}}) - \ln(R^{\text{Económico. Min}})}$$

Ecuación 16. Ecuación para estimar el índice de rendimiento económico.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para el  $IR^{\text{Ecológico}}$  se toma como valor máximo ( $R_{\text{Ecológico Max}}$ ), el número promedio de capacidad de ocupantes en un vehículo que es de 10 y, como valor mínimo ( $R_{\text{Ecológico Min}}$ ) se asigna el valor de 1, que es el número mínimo de ocupantes en un vehículo en funcionamiento. Inicialmente debido a que la reducción del número de personas a las que se les transfieren emisiones de carbono es positivo, este valor se ajusta con la obtención del residuo que resulta de

la diferencia entre el número máximo de ocupantes en un vehículo y el  $R^{Ecológico}$ , (véase ecuación 17).

$$IR^{Ecológico} = \frac{\ln(FC - R^{Ecológico. Real}) - \ln(R^{Ecológico. Min})}{\ln(R^{Ecológico Max.}) - \ln(R^{Ecológico. Min})}$$

Ecuación 17. Ecuación para estimar el índice de rendimiento ecológico.

Fuente: Elaboración propia.

## 6. RESULTADOS DESCRIPTIVOS

En este capítulo se describen los resultados de la presente investigación. La secuencia corresponde a los objetivos específicos, guardando el mismo orden del apartado metodológico, es decir, se describen los resultados obtenidos conforme al procedimiento metodológico correspondientes al objetivo específico 1, posteriormente al objetivo específico 2 y finalmente al objetivo específico 3.

En lo referente al caso del objetivo específico 1 “...*Determinar los flujos de materia y energía entre el sistema privado de movilidad urbana y los sistemas adyacentes en su medio ambiente.*” (apartado 5.1.) se presentan los resultados correspondientes a la energía química transformada en energía mecánica en las unidades vehiculares que conforman el SPMU, descritas como fuentes móviles de acuerdo a las directrices del IPCC en su versión revisada del 2006. Este consumo y/o transformación energética consiste en la utilización de gasolinas PEMEX Magna (87 Octanos) y PEMEX Premium (91 Octanos), vendidos en Hermosillo, Sonora, en el periodo analizado. A la par, se muestran los resultados correspondientes a las emisiones de carbono promovidas por dicha actividad (apartado 5.1.1).

Posteriormente, se describe el volumen de energía transformado en fuentes fijas (centrales eléctricas propiedad de la paraestatal mexicana, CFE, o administradas por ésta), que se destinó a la generación de la renta necesaria para adquirir bienes energéticos (gasolinas) y de transporte (vehículos). Aunado a esto, se exponen los resultados correspondientes a las emisiones de carbono promovidas por dicha actividad de transformación energética en fuentes fijas (apartado 5.1.2.).

Finalmente se presentan los resultados, correspondientes a la energía disipada en la atmósfera, tanto en las máquinas térmicas de las fuentes móviles, como las de las fuentes fijas, estimada a partir de las emisiones de carbono de cada una de las actividades mencionadas (apartado 5.1.3. y 5.1.4.)

En el caso del objetivo específico 2 “...*Interiorizar el costo de las emisiones de GEI en el balance de materia y energía derivado de la relación entre el SPMU y los sistemas adyacentes en su medio ambiente*” (apartado 5.2.), se expone el resultado del valor monetario estimado de las emisiones de carbono derivadas de la transformación de energía en fuentes móviles (apartado 5.2.1.) y las de las derivadas de fuentes fijas (apartado 5.2.2.).

En lo referente al objetivo específico 3 “... *Medir el Rendimiento Ambiental del SPMU en Hermosillo, Sonora entre el año 2005 y 2015*” (apartado 5.3.) se exponen los resultados obtenidos

correspondientes al rendimiento energético (apartado 5.3.1.), es decir, la cantidad de energía suministrada en el sistema vs. la energía disipada al ambiente; rendimiento económico (apartado 5.3.2.), correspondiente a la cantidad de dinero suministrado en el sistema vs. la cantidad de dinero disipado, adecuado al valor de la energía (visto el dinero como materia en el balance de materia y energía) y rendimiento ecológico (apartado 5.3.3.), correspondiente a la cantidad de personas, no usuarios del SPMU y que se ven afectados por el volumen de emisiones de carbono. En conjunto, los tres índices mencionados, estructuran el índice de rendimiento ambiental, cuyo resultado se presenta en el apartado 5.4.

## 6.1. Resultados en Relación al Objetivo Específico 1

*“Determinar los flujos de materia y energía entre el sistema privado de movilidad urbana y los sistemas adyacentes en su medio ambiente”.*

Para alcanzar tal objetivo fue necesario estimar la cantidad de energía que entra al sistema determinado como  $Q^I$ , dicha energía, como se ha venido mencionando provino de tres fuentes específicas, analizadas en la presente investigación: a) la energía inherente a los combustibles para fuentes móviles ( $Q^{I(gasolinas)}$ ); b) la energía producida en fuentes fijas para adquirir bienes energéticos ( $Q^{IB.Energéticoss}$ ); y c) la energía producida en fuentes fijas para adquirir bienes de transporte ( $Q^{I(B. Transporte)}$ ).

De manera paralela, se estimaron las emisiones de carbono derivadas de la quema de combustibles fósiles en fuentes fija y en fuentes móviles.

### 6.1.1. Energía Transformada en Fuentes Móviles y Emisiones de CO<sub>2</sub> Producidas

6.1.1.1. Emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de fuentes móviles. Durante el periodo comprendido entre los años 2005 y 2015, las emisiones de carbono derivadas de la quema de combustible en fuentes móviles (automóviles) se incrementaron en un 30.90% con una tasa de crecimiento anual (TCA) del 2.47%. Las emisiones derivadas de la quema de gasolina P. Magna en fuentes móviles fueron

las que representaron un mayor incremento, pasando de 698.33 mTon. de CO<sub>2</sub> en 2005 a 942.84mTon. lo que significó un incremento del 35.01% con una tasa de crecimiento anual del 2.77%, mientras que, las emisiones derivadas de la quema de gasolina P. Premium pasaron de 186.64 mTon. de CO<sub>2</sub> en 2005 a 215.62 mTon. de CO<sub>2</sub> en 2015, lo que significó un incremento del 15.53% con una TCA del 1.32% (cuadro 16).

AÑO	mTon. CO <sub>2</sub>					
	P. Magna	Δ%	P. Premium	Δ%	Total	Δ%
2005	698.33	N.A.	186.64	N.A.	884.97	N.A.
2006	748.30	7.16	197.72	5.94	946.02	6.90
2007	855.75	14.36	168.07	-15.00	1,023.82	8.22
2008	1,011.64	18.22	146.48	-12.85	1,158.12	13.12
2009	963.22	-4.79	98.67	-32.64	1,061.90	-8.31
2010	947.30	-1.65	83.85	-15.02	1,031.15	-2.90
2011	1,018.64	7.53	96.73	15.36	1,115.37	8.17
2012	1,047.75	2.86	155.02	60.27	1,202.77	7.84
2013	966.01	-7.80	188.66	21.70	1,154.67	-4.00
2014	928.85	-3.85	207.48	9.98	1,136.33	-1.59
2015	942.84	1.51	215.62	3.92	1,158.47	1.95
<b>Media</b>	<b>920.79</b>	<b>3.35</b>	<b>158.63</b>	<b>4.17</b>	<b>1,079.42</b>	<b>2.94</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>110.69</b>	<b>3.35</b>	<b>155.83</b>	<b>4.17</b>	<b>1,098.86</b>	<b>2.94</b>
<b>Inc. Total</b>	<b>35.01</b>	<b>N.A.</b>	<b>15.53</b>	<b>N.A.</b>	<b>30.91</b>	<b>N.A.</b>
<b>TCA</b>	<b>2.76</b>	<b>N.A.</b>	<b>1.33</b>	<b>N.A.</b>	<b>2.48</b>	<b>N.A.</b>

Cuadro 16. Poder calorífico neto para los combustibles utilizados en México para generar electricidad, 2005-2015

Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.2. Energía transformada en fuentes móviles. En el caso de la energía inherente a las gasolinas, destinada para su transformación en fuentes móviles, es decir, al uso del automóvil mantuvo tendencias diferentes de crecimiento dentro del mismo periodo, pasando de 12,114.88TJ en 2005 a 15,751.41TJ en 2015, lo que significó un incremento del 30.93% con una TCA del 2.48% (cuadro 17).

AÑO	<i>Q</i> <sub>gasolinas</sub> (P. Magna)				<i>Q</i> <sub>gasolinas</sub> (P. Premium)				Total	
	MLt		TJ	Δ%	MLt		TJ	Δ%	TJ	Δ%
2005	312.37	N.A.	9,577.61	N.A.	82.75	N.A.	2,537.27	N.A.	12,114.88	N.A.
2006	334.72	7.16	10,262.93	7.16	87.67	5.94	2,687.90	5.94	12,950.83	6.90
2007	371.14	10.88	11,736.66	14.36	72.25	-17.58	2,284.82	-15.00	14,021.48	8.27
2008	397.81	7.19	13,874.67	18.22	57.09	-20.98	1,991.30	-12.85	15,865.97	13.15
2009	405.09	1.83	13,210.62	-4.79	41.13	-27.96	1,341.40	-32.64	14,552.01	-8.28
2010	405.04	-0.01	12,992.28	-1.65	35.54	-13.60	1,139.89	-15.02	14,132.17	-2.89
2011	431.31	6.49	13,970.66	7.53	40.60	14.24	1,314.94	15.36	15,285.61	8.16
2012	445.80	3.36	14,369.94	2.86	65.38	61.05	2,107.42	60.27	16,477.36	7.80
2013	411.02	-7.80	13,248.88	-7.80	79.57	21.70	2,564.73	21.70	15,813.61	-4.03
2014	394.28	-4.07	12,739.20	-3.85	87.30	9.72	2,820.60	9.98	15,559.80	-1.61
2015	396.98	0.68	12,931.14	1.51	89.99	3.08	2,931.27	3.92	15,862.41	1.94
<b>Media</b>	<b>391.41</b>	<b>2.57</b>	<b>12,628.60</b>	<b>3.35</b>	<b>67.21</b>	<b>3.56</b>	<b>2,156.50</b>	<b>4.17</b>	<b>14,785.10</b>	<b>2.94</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>39.06</b>	<b>2.57</b>	<b>1,518.10</b>	<b>3.35</b>	<b>20.63</b>	<b>3.56</b>	<b>639.34</b>	<b>4.17</b>	<b>1,366.00</b>	<b>2.94</b>
<b>Inc. % total</b>	<b>27.08</b>	<b>N.A.</b>	<b>35.01</b>	<b>N.A.</b>	<b>8.74</b>	<b>N.A.</b>	<b>15.53</b>	<b>N.A.</b>	<b>30.93</b>	<b>N.A.</b>
<b>TCA</b>	<b>2.20</b>	<b>N.A.</b>	<b>2.77</b>	<b>N.A.</b>	<b>0.76</b>	<b>N.A.</b>	<b>1.32</b>	<b>N.A.</b>	<b>2.48</b>	<b>N.A.</b>

Cuadro 17. Energía contenida en las gasolinas vendidas para su uso en fuentes móviles en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

### 6.1.2. Energía Transformada en Fuentes Fijas para la Adquisición de Bienes Energéticos y de Transporte y sus Emisiones Derivadas.

6.1.2.1. Energía para adquirir bienes energéticos. La cantidad de energía obtenida a partir de la quema de combustibles fósiles en fuentes fijas y que fue necesaria para adquirir bienes energéticos pasó de 8,253.34 TJ en 2005 a 14,715.83TJ en 2015, lo que significó una variación del 78.30% con una TCA del 5.40%. Sin embargo fue la energía que se requirió para adquirir la gasolina P. Magna la que presento un mayor crecimiento, pasando de 6,288.65 TJ en 2005 a 11,748.26 en 2015, es decir, una variación del 88.41% con una TCA del 5.51%, a diferencia de la energía para adquirir la gasolina P. Premium, que paso de 1,964.68TJ en 2005 a 2,867.57TJ en 2015, lo que significó una variación del 39.74% con una TCA del 3.09% (cuadro 18).

AÑO	<i>Q<sup>I</sup>B .Energéticos (TJ)</i>					TOTAL	Δ%
	P. Magna	Δ%	P. Premium	%			
2005	6,288.65	N.A.	1,964.68	N.A.		8,253.34	N.A.
2006	6,491.75	3.23	2,006.17	2.11		8,497.93	2.96
2007	7,224.30	11.28	1,718.44	-14.34		8,942.75	5.23
2008	7,240.28	0.22	1,289.50	-24.96		8,529.78	4.62
2009	8,460.51	16.85	1,062.81	-17.58		9,523.32	11.65
2010	8,380.99	-0.94	876.70	-17.51		9,257.70	-2.79
2011	9,285.70	10.79	981.33	11.93		10,267.02	10.90
2012	10,137.56	9.17	1,586.36	61.65		11,723.92	14.19
2013	10,209.36	0.71	2,081.21	31.19		12,290.57	4.83
2014	10,531.68	3.16	2,470.33	18.70		13,002.01	5.79
2015	11,848.26	12.50	2,867.57	16.08		14,715.83	13.18
<b>Media</b>	<b>8,736.28</b>	<b>6.70</b>	<b>1,718.65</b>	<b>6.73</b>		<b>10,454.92</b>	<b>6.13</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>1,819.30</b>	<b>6.70</b>	<b>635.92</b>	<b>6.73</b>		<b>2,159.38</b>	<b>6.13</b>
<b>Inc. % total</b>	<b>88.41</b>	<b>N.A.</b>	<b>45.96</b>	<b>N.A.</b>		<b>78.30</b>	<b>N.A.</b>
<b>TCA</b>	<b>5.93</b>	<b>N.A.</b>	<b>3.50</b>	<b>N.A.</b>		<b>5.40</b>	<b>N.A.</b>

Cuadro 18. Energía producida en fuentes fijas para adquirir bienes energéticos en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

El origen de la energía, determinado por los combustibles utilizados en el periodo a analizar en fuentes fijas, en el país, fue cambiando gradualmente; inicialmente la base para la generación de energía era el combustóleo que, poco a poco se fue sustituyendo por combustibles como el diésel, el carbón y el gas natural, donde éste último, represento el mayor incremento en su uso, pasando de producir 3.02TJ destinados a la adquisición de combustibles en el 2005 a 17.93TJ en 2015, lo que significó una variación del 494.17%, con una TCA del 17.59%, seguido del Diésel que paso de 108.98TJ en 2005 a 335.09TJ en 2015, es decir una variación del 207.48% con TCA del 10.75% y el Carbón que paso de 2,750.08TJ en 2005 a 8,462.09TJ, una variación del 207.48% con una TCA del 10.76%. Finalmente, aunque hasta el año 2015, el uso del combustóleo seguía ocupando el mayor porcentaje de utilización para la generación de energía eléctrica en el país, su uso fue el que sostuvo un menor crecimiento, pasando de 5,391.25TJ en 2005 a 5,900TJ en 2015, es decir una variación del 9.45% con una TCA del 0.82% (cuadro 29).

AÑO	Combustóleo	<i>Q<sup>I</sup>B .Energéticos (TJ)</i>		
		Diésel	Carbón	Gas Natural
2005	5,391.25	108.98	2,750.08	3.02
2006	5,125.28	143.46	3,225.21	3.97
2007	5,417.69	87.22	3,433.70	4.13
2008	5,566.97	133.04	2,825.01	4.75
2009	5,541.50	193.92	3,782.10	5.80
2010	5,034.35	190.12	4,027.69	5.53
2011	5,744.56	243.06	4,273.11	6.29
2012	6,889.42	360.39	4,473.33	0.78
2013	6,752.49	372.24	5,155.89	9.95
2014	5,649.68	310.55	7,028.62	13.17
2015	5,900.71	335.09	8,462.09	17.93
<b>Media</b>	<b>5,728.54</b>	<b>225.28</b>	<b>4,494.26</b>	<b>6.85</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>595.78</b>	<b>104.64</b>	<b>1,787.24</b>	<b>4.97</b>
<b>Inc. % total</b>	<b>9.45</b>	<b>207.48</b>	<b>207.70</b>	<b>494.17</b>
<b>TCA</b>	<b>0.82</b>	<b>10.75</b>	<b>10.76</b>	<b>17.59</b>

Cuadro 19. Combustibles fósiles (en unidades energéticas) para carburación en fuentes fijas que producen energía eléctrica o calor y que se destina a la adquisición de bienes energéticos en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

Dichos volúmenes de energía mostrados en el cuadro 19. Equivalieron a los volúmenes de combustibles mostrados en el cuadro 20.

AÑO	Combustóleo	Diésel	Carbón	Gas Natural
	MLt.	MLt.	mTon.	m <sup>3</sup> x 1,000
2005	142.33	3.19	141.72	73.44
2006	135.31	4.20	166.21	96.72
2007	143.03	2.55	176.95	100.43
2008	146.97	3.90	145.58	115.59
2009	146.29	5.68	194.90	141.24
2010	132.91	5.57	207.56	134.62
2011	151.65	7.12	220.21	153.11
2012	181.88	10.55	230.52	19.01
2013	178.26	10.90	265.70	242.10
2014	149.15	9.09	362.21	320.34
2015	155.78	9.81	436.08	436.38

Cuadro 20. Combustibles fósiles (en unidades volumétricas) para carburación en fuentes fijas que producen energía eléctrica o calor y que se destina a la adquisición de bienes energéticos en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

6.1.2.2. Energía para adquirir bienes de transporte. En Hermosillo, Sonora, del año 2005 al año 2015, el gasto en automóviles, tuvo una variación del 78%, pasando de 12,300.57 millones de



pesos a inicios del periodo a un total de 2,605.68 millones de pesos en el 2015 con una TCA del 13.16% anual (cuadro 21).

<b>AÑO</b>	<b>Costo Total Anual (Millones de Pesos Mexicanos)</b>	<b>Δ%</b>
2005	12,300.57	N.A.
2006	11,042.93	-10.22
2007	12,102.25	9.59
2008	12,447.40	2.85
2009	13,002.42	4.46
2010	4,252.71	-67.29
2011	3,009.06	-29.24
2012	1,752.82	-41.75
2013	1,992.44	13.67
2014	2,935.19	47.32
2015	2,605.68	-11.23
<b>Media</b>	<b>7,040.32</b>	<b>-8.18</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>4,980.73</b>	<b>-8.18</b>
<b>Inc. % total</b>	<b>-78.82</b>	<b>N.A.</b>
<b>TCA</b>	<b>-13.16</b>	<b>N.A.</b>

Cuadro 21. Gasto anual en la adquisición de bienes de transporte en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.  
Fuente: Elaboración propia.

La contracción en el gasto anual en automóviles en Hermosillo, Sonora, en el periodo a analizar, se manifestó de manera similar en la tendencia de la energía para generar la cantidad de dinero necesaria para solventar dicho gasto, siendo así que, a inicios del periodo, se generaron 39,377.77TJ, valor que se contrajo en un 85.04% para final del periodo, pasando a un total de 5,890.06TJ a una tasa anual de decrecimiento del 15.08% (cuadro 22).

AÑO	Q' (TJ)	
	TJ	Δ%
2005	39,377.77	N.A.
2006	32,208.04	-18.21
2007	33,933.83	5.36
2008	31,341.66	7.64
2009	35,616.06	13.64
2010	10,696.44	-69.97
2011	7,060.85	-33.99
2012	3,906.72	-44.67
2013	4,343.26	11.17
2014	6,212.20	43.03
2015	5,890.06	-5.19
<b>Media</b>	<b>19,144.26</b>	<b>-10.65</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>14,934.61</b>	<b>-10.65</b>
<b>Inc. % total</b>	<b>-85.04</b>	<b>N.A.</b>
<b>TCA</b>	<b>-15.86</b>	<b>N.A.</b>

Cuadro 22. Energía producida en fuentes fijas que producen energía eléctrica o calor y que se destina a la adquisición de bienes de transporte en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

La generación de la energía necesaria para adquirir bienes de transporte, demandó el consumo de 679.06MLt de Combustóleo, 15.23MLt de Diésel, 676.17mTon de Carbón y 305.41miles de m<sup>3</sup> ha inicios del periodo (2005). Posteriormente, el uso de dichos combustibles mantuvo una tendencia a la baja, lo que significó que para el año 2015 se consumieran un volumen de 62.35MLt de Combustóleo, 3.93MLt de Diésel, 174.54mTon de carbón y 174.66 miles de m<sup>3</sup> de gas natural, es decir, una variación del consumo en un -90.82%, -74.21%, -74.19% y -50.15% respectivamente (cuadro 23).

<b>AÑO</b>	<b>Combustóleo MLt.</b>	<b>Diésel MLt.</b>	<b>Carbón mTon.</b>	<b>Gas Natural m<sup>3</sup> x 1,000</b>
2005	679.06	15.23	676.17	350.41
2006	512.82	15.92	629.94	366.57
2007	542.72	9.69	671.45	381.09
2008	540.01	14.32	534.92	424.73
2009	547.12	21.24	728.91	528.24
2010	153.56	6.43	239.82	155.54
2011	104.30	4.90	151.44	105.30
2012	60.61	3.52	76.82	6.34
2013	63.00	3.85	93.89	85.55
2014	71.26	4.35	173.06	153.06
2015	62.35	3.93	174.54	174.66
<b>Media</b>	<b>303.35</b>	<b>9.40</b>	<b>377.36</b>	<b>248.32</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>254.65</b>	<b>6.25</b>	<b>266.74</b>	<b>167.37</b>
<b>Inc. % total</b>	<b>-90.82</b>	<b>-74.21</b>	<b>-74.19</b>	<b>-50.15</b>
<b>TCA</b>	<b>-19.51</b>	<b>-11.59</b>	<b>-11.58</b>	<b>-6.13</b>

Cuadro 23. Combustibles fósiles (en unidades volumétricas) para carburación en fuentes fijas que producen energía eléctrica o calor y que se destina a la adquisición de bienes de transporte en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

6.1.2.3. Emisiones derivadas de la adquisición de bienes energéticos. En Hermosillo, Sonora, en el periodo de análisis, las emisiones derivadas del consumo de combustibles fósiles en fuentes fijas que producen energía eléctrica o calor y que se destina a la adquisición de bienes energéticos, específicamente gasolinas P. Maga y P. Premium, se incrementaron en un 100.03% pasando de 788.21 miles de toneladas de CO<sub>2</sub> (mTon.CO<sub>2</sub>) a 1,576.63 mTon.CO<sub>2</sub> con una TCA del 6.08% anual; de las cuales, por un lado, las emisiones asociadas a la adquisición de gasolina P. Magna presentaron una variación mayor, pasando de 600.58mTon.CO<sub>2</sub> en 2005 a 1.269.40mTon.CO<sub>2</sub> en 2015, lo que significó una variación total del 111.36% con una TCA del 7.04%, y por otro, las emisiones asociadas a la compra de gasolina P. Premium, presentaron una variación del 63.74% pasando de 187.63mTon.CO<sub>2</sub> en 2005 a 307.23 mTon.CO<sub>2</sub> con una TCA del 4.58% (cuadro 24).

AÑO	mTon. CO <sub>2</sub>		
	P. Magna	P. Premium	TOTAL
2005	600.58	187.63	788.21
2006	634.37	196.04	830.41
2007	707.85	168.38	876.23
2008	690.61	123.00	813.60
2009	833.76	104.74	938.49
2010	841.32	88.01	929.32
2011	923.45	97.59	1,021.04
2012	990.80	155.04	1,145.84
2013	1,016.45	207.21	1,223.66
2014	1,110.73	260.53	1,371.27
2015	1,269.40	307.23	1,576.63
<b>Media</b>	<b>874.48</b>	<b>172.31</b>	<b>1,046.79</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>210.92</b>	<b>69.28</b>	<b>255.04</b>
<b>Inc. % total</b>	<b>111.36</b>	<b>63.74</b>	<b>100.03</b>
<b>TCA</b>	<b>7.04</b>	<b>4.58</b>	<b>6.51</b>

Cuadro 24. Emisiones asociadas a la adquisición de bienes energéticos por tipo de combustible adquirido en Hermosillo, sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

Las emisiones derivadas del consumo de combustibles, por tipo de combustible empleado en fuentes fijas que producen energía o calor y que se destinó a la compra de bienes energéticos, específicamente gasolina P. Magna, se presentan en el cuadro 25 y las correspondientes a la gasolina P. Premium se presentan en el cuadro 26.

AÑO	Combustóleo	Diésel	Carbón	Gas Natural
	mTon. CO <sub>2</sub>	mTon. CO <sub>2</sub>	mTon. CO <sub>2</sub>	mTon. CO <sub>2</sub>
2005	326.37	6.05	268.02	0.13
2006	311.07	7.98	315.14	0.18
2007	347.72	5.13	354.80	0.19
2008	375.43	8.23	306.71	0.23
2009	391.14	12.55	429.77	0.30
2010	362.10	12.54	466.38	0.29
2011	412.78	16.01	494.32	0.33
2012	473.30	22.70	494.75	0.04
2013	445.64	22.53	547.80	0.48
2014	363.59	18.33	728.20	0.62
2015	377.46	19.65	871.45	0.83

Cuadro 25. Emisiones asociadas a la compra de bienes energéticos (gasolina P. Magna) por tipo de combustible utilizado en la fuente, en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Elaboración propia.

<b>AÑO</b>	<b>Combustóleo mTon. CO<sub>2</sub></b>	<b>Diésel mTon. CO<sub>2</sub></b>	<b>Carbón mTon. CO<sub>2</sub></b>	<b>Gas Natural mTon. CO<sub>2</sub></b>
2005	101.96	1.89	83.73	0.04
2006	96.13	2.47	97.39	0.05
2007	82.71	1.22	84.40	0.05
2008	66.86	1.47	54.63	0.04
2009	49.14	1.58	53.99	0.04
2010	37.88	1.31	48.79	0.03
2011	43.62	1.69	52.24	0.03
2012	74.06	3.55	77.42	0.01
2013	90.85	4.59	111.67	0.10
2014	85.28	4.30	170.81	0.14
2015	91.35	4.76	210.91	0.20

Cuadro 26. Emisiones asociadas a la compra de bienes energéticos (gasolina P. Premium) por tipo de combustible utilizado en la fuente, en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

6.1.2.4. Emisiones derivadas de la adquisición de bienes de transporte. Las emisiones derivadas de la quema de combustibles fósiles en fuentes fijas para producir energía eléctrica o calor destinada a la compra de bienes de transporte, presentó una contracción durante el periodo de análisis (2005-2015), pasando de 3,760.64 mTon.CO<sub>2</sub> en 2005 a 631.05 mTon.CO<sub>2</sub> en 2015, es decir, una contracción del 83.93% con una tasa de decremento anual del -15.31% (cuadro 27).

<b>AÑO</b>	<b>mTon. CO<sub>2</sub></b>	<b>Δ%</b>
2005	3,760.64	N.A.
2006	3,147.36	-16.31
2007	3,324.90	5.64
2008	2,989.49	-10.09
2009	3,509.86	17.41
2010	1,073.75	-69.41
2011	702.19	-34.60
2012	381.82	-45.62
2013	432.42	13.25
2014	655.17	51.51
2015	631.05	-3.68
<b>Media</b>	<b>1,873.51</b>	<b>-9.19</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>1,433.70</b>	<b>-9.19</b>
<b>Inc. % total</b>	<b>-83.22</b>	<b>N.A.</b>
<b>TCA</b>	<b>-14.98</b>	<b>N.A.</b>

Cuadro 27. Emisiones asociadas a la adquisición de bienes de transporte en Hermosillo, sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

Las emisiones derivadas de la quema de combustibles en fuentes fijas para producir la energía necesaria para adquirir bienes de transporte, por tipo de combustible se muestran en el cuadro 28.

AÑO	Combustóleo mTon. CO <sub>2</sub>	Diésel mTon. CO <sub>2</sub>	Carbón mTon. CO <sub>2</sub>	Gas Natural mTon. CO <sub>2</sub>
2005	2,043.65	37.88	1,678.28	0.83
2006	1,543.35	39.61	1,563.53	0.87
2007	1,633.32	24.11	1,666.56	0.90
2008	1,625.17	35.61	1,327.70	1.01
2009	1,646.57	52.84	1,809.20	1.25
2010	462.14	16.00	595.23	0.37
2011	313.88	12.18	375.88	0.25
2012	182.40	8.75	190.66	0.02
2013	189.58	9.58	233.05	0.20
2014	214.46	10.81	429.54	0.36
2015	187.64	9.77	433.22	0.41
<b>Media</b>	<b>912.92</b>	<b>23.38</b>	<b>936.62</b>	<b>0.59</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>766.38</b>	<b>15.55</b>	<b>662.06</b>	<b>0.40</b>
<b>Inc. % total</b>	<b>-90.82</b>	<b>-74.21</b>	<b>-74.19</b>	<b>-50.15</b>
<b>TCA</b>	<b>-19.51</b>	<b>-11.59</b>	<b>-11.58</b>	<b>-6.13</b>

Cuadro 28. Emisiones asociadas a la compra de bienes de transporte (automóviles) por tipo de combustible utilizado en la fuente, en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

### 6.1.3. Energía no Aprovechable Derivada de Fuentes Móviles.

En un sistema abierto, como plantea el análisis del sistema económico desde la perspectiva del enfoque eointegrador, los flujos de energía y materia se dan a través de las fronteras del sistema, siendo así que la energía que entra al sistema (Q1), propicia un trabajo dentro del sistema (en este caso, traslado de personas), transformando el sistema, con carácter de irreversible, incrementando su nivel de entropía y cediendo al medio una parte de la energía que entro al sistema y que no se utilizó (Q2). Entendemos esta salida de energía como energía de menor calidad, no aprovechable que el sistema pierde, pero que propicia un cambio en el medio en donde se encuentra el sistema. Esta energía (Q2), se entiende como la energía térmica no aprovechable, necesaria para que los gases de combustión de los equipos donde se transformó la energía química (combustibles) en energía eléctrica, térmica o mecánica, eleven su temperatura y que posteriormente es cedida al medio, cuando la temperatura de dichos gases alcanza un nivel de cuasi equilibrio.

Por lo tanto, en este apartado, se presentan los valores de energía que el sistema cedió al medio, a partir de tres fuentes de emisión de dióxido de carbono: transformación de energía en fuentes móviles, transformación de energía en fuentes fijas destinada a la compra de bienes energéticos y la destinada a la compra de bienes de transporte.

6.1.3.1. Pérdidas de energía derivada de la combustión en el automóvil. Se sabe que gran parte de la energía que introduce en el automóvil es desaprovechada ya que se pierde en forma de energía térmica. En este caso se presentan los resultados correspondientes a la energía no aprovechable que la maquina térmica en los automóviles cede al medio.

La energía que cedió el sistema de transporte a través de fuentes móviles, se incrementó en el periodo comprendido entre los años 2005 y 2015, siendo la quema de gasolina P. Magna la que presento un mayor incremento, pasando de -6,366.62TJ en 2005 a -8,582.50TJ en 2015, lo que implica que las pérdidas de energía derivadas de dicho combustible se incrementaron en un 34.80% con una TCA del 2.75%; mientras que la energía no aprovechable derivada de la quema de gasolina P. Premium, se incrementó a una tasa menor, del 1.31%, pasando de -1,701.60TJ en 2005 a 1,962.78TJ en 2015, lo que significó un incremento total del 15.35% (véase cuadro 29).

AÑO	P. Magna		P. Premium	
	TJ	Δ%	TJ	Δ%
2005	-6,366.62	N.A.	-1,701.60	N.A.
2006	-6,822.18	7.16	-1,802.62	5.94
2007	-7,793.76	14.24	-1,530.72	- 15.08
2008	-9,213.51	18.22	-1,334.07	-12.85
2009	-8,765.25	- 4.87	-897.92	- 32.69
2010	-8,626.66	-1.58	-763.59	-14.96
2011	-9,267.61	7.43	-880.03	15.25
2012	-9,528.50	2.82	-1,409.81	60.20
2013	-8,792.47	-7.72	-1,717.17	21.80
2014	-8,447.18	-3.93	-1,886.91	9.88
2015	-8,582.50	1.60	-1,962.78	4.02
<b>Media</b>	<b>-8,382.39</b>	<b>3.34</b>	<b>-1,444.29</b>	<b>4.15</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>1,002.53</b>	<b>3.34</b>	<b>428.36</b>	<b>4.15</b>
<b>Inc. % total</b>	<b>34.80</b>	<b>N.A.</b>	<b>15.35</b>	<b>N.A.</b>
<b>TCA</b>	<b>2.75</b>	<b>N.A.</b>	<b>1.31</b>	<b>N.A.</b>

Cuadro 29. Energía no aprovechable derivada de la quema de combustibles P. Magna y P. Premium en fuentes móviles en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

#### 6.1.4. Energía no Aprovechable Derivada de la Quema de Combustibles Fósiles en Fuentes Fijas para la Adquisición de Bienes Energéticos y de Transporte.

La Energía derivada de la quema de combustibles en fuentes fijas para la adquisición de bienes, como se ha venido mencionando, se divide en dos, energía para la adquisición de bienes energéticos y de transporte. A continuación, se muestran los resultados de los valores de energía no aprovechable derivada de la compra de bienes energéticos y posteriormente los correspondientes a la compra de bienes de transporte.

6.1.4.1. Energía no aprovechable derivada de la quema de combustibles fósiles en fuentes fijas para la adquisición de bienes energéticos. La energía no aprovechable derivada de fuentes fijas para la compra de gasolina P. Magna fue la que presentó una TCA mayor, de 7.02%, pasando de -2,759.60TJ en 2005 hasta alcanzar -5,820.28TJ en 2015, un crecimiento total del 110.91%, mientras que la energía disipada en fuentes fijas derivada de la compra de gasolina P. Premium tuvo una TCA menor, del 4.56%, pasando de -862.15TJ en 2005 hasta alcanzar 1,408.65 TJ en 2015, una variación total del 63.39% (véase cuadro 30).

AÑO	P. Magna		P. Premium	
	TJ	Δ%	TJ	Δ%
2005	-2,759.60	N.A.	-862.15	N.A.
2006	-2,910.42	5.47	-899.42	4.32
2007	-3,248.53	11.62	-772.73	-14.09
2008	-3,173.28	-2.32	-565.16	-26.86
2009	-3,826.36	20.58	-480.67	-14.95
2010	-3,870.50	1.15	-404.88	-15.77
2011	-4,237.97	9.49	-447.88	10.62
2012	-4,545.65	7.26	-711.32	58.82
2013	-4,663.35	2.59	-950.64	33.64
2014	-5,092.78	9.21	-1,194.57	25.66
2015	-5,820.28	14.29	-1,408.65	17.92
<b>Media</b>	<b>-4,013.52</b>	<b>7.93</b>	<b>-790.73</b>	<b>7.93</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>965.45</b>	<b>7.93</b>	<b>317.41</b>	<b>7.93</b>
<b>Inc. % total</b>	<b>110.91</b>	<b>N.A.</b>	<b>-63.39</b>	<b>N.A.</b>
<b>TCA</b>	<b>7.02</b>	<b>N.A.</b>	<b>4.56</b>	<b>N.A.</b>

Cuadro 30. Energía no aprovechable derivada de la quema de combustibles fósiles en fuentes fijas para la adquisición de bienes energéticos en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.



La variación de la energía disipada en fuentes fijas, es decir la energía no aprovechable, por tipo de combustible empleado, para la producción de energía para adquirir bienes energéticos se explica en el cuadro 31.

AÑO	Combustóleo TJ	Diésel TJ	Carbón TJ	Gas Natural TJ
2005	-1,968.17	-36.48	-1,616.29	-0.80
2006	-1,868.21	-47.95	-1,892.63	-1.05
2007	-1,975.40	-29.16	-2,015.60	-1.09
2008	-2,032.32	-44.54	-1,660.32	-1.26
2009	-2,020.54	-64.84	-2,220.11	-1.54
2010	-1,840.12	-63.72	-2,370.06	-1.47
2011	-2,094.58	-81.26	-2,508.33	-1.67
2012	-2,511.25	-120.45	-2,625.06	-0.21
2013	-2,461.34	-124.42	-3,025.60	-2.64
2014	-2,058.09	-103.73	-4,122.03	-3.49
2015	-2,149.54	-111.93	-4,962.72	-4.75

Cuadro 31. Energía no aprovechable por tipo de combustible, derivada de la quema de combustibles fósiles en fuentes fijas para la adquisición de bienes energéticos en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

6.1.4.2. Energía no aprovechable derivada de la quema de combustibles fósiles en fuentes fijas para la adquisición de bienes de transporte. En el periodo comprendido entre los años 2005 y 2015 las pérdidas energéticas correspondientes a la adquisición de bienes de transporte de redujeron en un -83.26% con una TCA del -15.00% pasando de -17,279.82TJ en 2005 a -2,893.40TJ en 2015 (véase cuadro 32)

AÑO	<i>Q<sup>2</sup> B. Transporte</i>	
	TJ	Δ%
2005	-17,279.82	N.A.
2006	-14,439.71	-16.44
2007	-15,258.92	5.67
2008	-13,736.46	- 9.98
2009	-16,107.75	17.26
2010	-4,939.82	- 69.33
2011	-3,222.56	-34.76
2012	-1,751.77	-45.64
2013	-1,983.88	13.25
2014	-3,004.02	51.42
2015	-2,893.40	-3.68
<b>Media</b>	<b>-8,601.65</b>	<b>- 9.22</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>6,583.30</b>	<b>- 9.22</b>
<b>Inc. % total</b>	<b>-83.26</b>	<b>N.A.</b>
<b>TCA</b>	<b>-15.00</b>	<b>N.A.</b>

Cuadro 32. Energía no aprovechable derivada de la quema de combustibles fósiles en fuentes fijas para la adquisición de bienes de transporte en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

La variación de la energía disipada por la quema de diferentes tipos de combustibles en fuentes fijas para generar la energía para adquirir bienes de transporte, se explica en el cuadro 33.

AÑO	Combustóleo	Diésel	Carbón	Gas Natural
	TJ	TJ	TJ	TJ
2005	-9,390.40	-174.06	-7,711.54	-3.82
2006	-7,080.71	-181.73	-7,173.28	-3.99
2007	-7,495.79	-110.66	-7,648.33	-4.15
2008	-7,467.53	-163.64	-6,100.67	-4.63
2009	-7,556.58	-242.48	-8,302.94	-5.75
2010	-2,126.10	-73.62	-2,738.40	-1.70
2011	-1,440.49	-55.89	-1,725.03	-1.15
2012	-836.82	-40.14	-874.74	-0.07
2013	-869.79	-43.97	-1,069.19	-0.93
2014	-983.33	-49.56	-1,969.46	-1.67
2015	-860.36	-44.80	-1,986.34	-1.90

Cuadro 33. Energía no aprovechable por tipo de combustible, derivada de la quema de combustibles fósiles en fuentes fijas para la adquisición de bienes de transporte en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

## 6.2. Resultados en Relación al Objetivo Específico 2

### 6.2.1. Valor de las Emisiones de CO<sub>2</sub> con base en la Energía Disipada en la Atmósfera y los Costos Energéticos-Uso del Automóvil.

El valor de las emisiones de dióxido de carbono derivados de la quema de combustibles en fuentes móviles (Automóviles) mantuvo una tendencia similar al incremento de precios corrientes de los combustibles para el transporte en la región, en menor intensidad, pasando de 1.87\$/Kg CO<sub>2</sub>, durante el 2005, correspondiente al consumo de Gasolinas P. Magna, a 3.69\$/Kg CO<sub>2</sub> durante el año 2015, es decir, un incremento del 97.32% con una TCA del 6.37 (véase cuadro 34), mientras que el precio de dicha gasolina paso de 6.29\$/Lt a principios del periodo a 13.20\$/Lt a finales del periodo, es decir un incremento de precio del 109.96% con una TCA del 6.98%.

Por otro lado, en el caso de las emisiones de dióxido de carbono por el consumo de gasolina P. Premium, estas incrementaron su valor en un 78.64% con una TCA del 5.42% pasando de 2.21\$/Kg CO<sub>2</sub>, en 2005 a 3.94\$/Kg CO<sub>2</sub>, en 2015 (véase cuadro 34), en comparación con el incremento del precio del mismo combustible que pasó de 7.42\$/Lt en 2005 a 14.10\$/Lt en 2015, es decir un incremento del 90.08% con una tasa de crecimiento anual del 6.01%.

AÑO	\$/Kg CO <sub>2</sub> (Quema de combustibles en automóviles)	
	MAGNA	PREMIUM
2005	1.87	2.21
2006	1.98	2.33
2007	2.00	2.44
2008	1.89	2.34
2009	2.13	2.63
2010	2.34	2.78
2011	2.58	2.89
2012	2.88	3.07
2013	3.22	3.39
2014	3.55	3.76
2015	3.69	3.94
<b>Media</b>	<b>2.56</b>	<b>2.89</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>0.68</b>	<b>0.59</b>
<b>Inc. % total</b>	<b>97.32</b>	<b>78.64</b>
<b>TCA</b>	<b>6.37</b>	<b>5.42</b>

Cuadro 34. Crecimiento del costo de las emisiones de dióxido de carbono por el consumo de gasolinas en Hermosillo, son. 20015-2015.  
Fuente: Elaboración propia.

## 6.2.2. Valor de las Emisiones de CO<sub>2</sub> con base en la Energía Disipada en la Atmósfera y los Costos Energéticos-Adquisición de Bienes Energéticos y de Transporte.

En el caso costo de las emisiones de dióxido de carbono por el consumo de energía eléctrica para generar la renta necesaria para adquirir bienes, ya sean de transporte o energéticos, en términos nominales el costo de estas se incrementaron en un 41.32% durante el periodo de estudio, con una TCA del 3.19% (véase cuadro 35), costos que mantuvieron una tendencia muy parecida a la tendencia del incremento de precios de la energía eléctrica en México, siendo así que los costos eléctricos se incrementaron en un 42.93% con una tasa de crecimiento anual del 3.30%.

AÑO	\$/Kg CO <sub>2</sub> (Emisiones por la adquisición de bienes)
2005	1.44
2006	1.57
2007	1.64
2008	1.82
2009	1.68
2010	1.83
2011	1.96
2012	2.06
2013	2.10
2014	2.17
2015	2.03
<b>Media</b>	<b>1.84</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>0.24</b>
<b>Inc. % total</b>	<b>41.32</b>
<b>TCA</b>	<b>3.19</b>

Cuadro 35. Crecimiento anual de los costos de las emisiones de dióxido de carbono, generadas a partir de la generación eléctrica para producir la renta para la adquisición de bienes de transporte y energéticos.

Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

## 6.3. Resultados en Relación al Objetivo Específico 3

En cumplimiento al objetivo específico tres: (*Medir el Rendimiento Ambiental del sistema privado de movilidad urbana en Hermosillo, Sonora entre el año 2005 y 2015.*); se presentan los resultados

correspondientes al rendimiento energético, económico y ecológico del uso del automóvil para el transporte de personas en Hermosillo, Sonora, del año 2005 al año 2015.

### 6.3.1. Rendimiento Energético 2005-2015.

En Hermosillo, Sonora, la cantidad de energía que se requirió para el funcionamiento de los automóviles, bajo el actual esquema de análisis, se redujo en el periodo de análisis, pasando de 59,745.99TJ en el año 2005 a 36,468.30TJ en el año 2015, lo que significó, una variación del -38.96% con una TCA del -4.39%; por otro lado la energía no aprovechable del sistema se contrajo a una tasa menor, del 3.99% anual, lo que concluyo en una contracción total de la energía pérdida del 36.11% donde inicialmente se perdieron -22,618.96TJ en 2005 y finalmente paso a -14,450.60TJ en 2015 (véase cuadro 36)

AÑO	Q <sup>1</sup>		Q <sup>2</sup>	
	TJ	Δ%	TJ	Δ%
2005	59,745.99	N.A.	-22,618.96	N.A.
2006	53,656.80	-10.19	-20,190.42	-10.74
2007	56,898.05	6.04	-21,401.70	6.00
2008	55,737.41	-2.04	-19,727.48	-7.82
2009	59,691.40	7.09	-22,723.85	15.19
2010	34,086.31	-42.90	-11,661.17	-48.68
2011	32,613.48	-4.32	-10,813.36	-7.27
2012	32,107.99	-1.55	-10,500.85	-2.89
2013	32,447.43	1.06	-11,345.23	8.04
2014	34,774.01	7.17	-13,371.77	17.86
2015	36,468.30	4.87	-14,450.60	8.07
<b>Media</b>	<b>44,384.29</b>	<b>-3.48</b>	<b>-16,255.04</b>	<b>-2.22</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>12,387.79</b>	<b>-3.48</b>	<b>5,058.46</b>	<b>-2.22</b>
<b>Inc. % total</b>	<b>-38.96</b>	<b>N.A.</b>	<b>-36.11</b>	<b>N.A.</b>
<b>TCA</b>	<b>-4.39</b>	<b>N.A.</b>	<b>-3.99</b>	<b>N.A.</b>

Cuadro 36. Energía que ingresa al sistema de transporte (Q1) y energía no aprovechable que el sistema cede al medio (Q2) en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez conocidos los valores de Q1 y Q2, se estimó que el rendimiento energético del automóvil en Hermosillo, Sonora, en el periodo comprendido entre los años 2005 y 2015, tuvo una variación

del -2.84% con una TCA de 0.26% pasando de un rendimiento energético inicial en 2005 de 62.14% de la energía aprovechada a un rendimiento final en 2015 de 60.37% (véase cuadro 37).

<b>AÑO</b>	<b>R<sup>energético</sup></b>	<b>Δ%</b>
2005	62.14	N.A.
2006	62.37	0.37
2007	62.39	0.02
2008	64.61	3.56
2009	61.93	-4.14
2010	65.79	6.23
2011	66.84	1.60
2012	67.30	0.68
2013	65.04	-3.36
2014	61.55	-5.36
2015	60.37	-1.90
<b>Media</b>	<b>63.67</b>	<b>-0.23</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>2.33</b>	<b>-0.23</b>
<b>Inc. % total</b>	<b>-2.84</b>	<b>N.A.</b>
<b>TCA</b>	<b>-0.26</b>	<b>N.A.</b>

Cuadro 37. Rendimiento energético del automóvil en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.  
Fuente: Elaboración propia

### 6.3.2. Rendimiento Económico 2005-2015

Durante el periodo comprendido entre los años 2005 y 2015, el gasto anual en el uso del automóvil, tuvo una variación del -38.73% con una TCA -4.36%, pasando de 14,878.69Mdp a inicios del periodo a 9,115.75Mdp en 2015. Por otro lado, las pérdidas económicas derivadas de la energía no aprovechable, tuvieron una variación del -9.05% con una TCA del -30.86% pasando de -7,892.28Mdp en 2005 a -7,7,177.98 Mdp en 2015 (véase cuadro 38).

AÑO	P1		P2	
	Mdp	Δ%	Mdp	Δ%
2005	14,878.69	N.A.	-7,892.28	N.A.
2006	13,956.56	- 6.20	-7,740.25	-1.93
2007	15,291.62	9.57	-8,467.17	9.39
2008	15,835.02	3.55	-8,675.13	2.46
2009	16,479.12	4.07	-9,094.52	4.83
2010	7,933.40	-51.86	-5,320.90	-41.49
2011	7,384.47	-6.92	-5,376.33	1.04
2012	7,012.96	-5.03	-5,678.01	5.61
2013	7,630.64	8.81	-6,151.61	8.34
2014	9,078.49	18.97	-7,013.71	14.01
2015	9,115.75	0.41	-7,177.98	2.34
<b>Media</b>	<b>1,326.98</b>	<b>-2.46</b>	<b>-7,144.35</b>	<b>0.46</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>3,890.93</b>	<b>- 2.46</b>	<b>1,357.04</b>	<b>0.46</b>
<b>Inc. % total</b>	<b>-38.73</b>	<b>N.A.</b>	<b>-9.05</b>	<b>N.A.</b>
<b>TCA</b>	<b>-4.36</b>	<b>N.A.</b>	<b>-0.86</b>	<b>N.A.</b>

Cuadro 38. Gasto monetario anual y pérdidas económicas derivados del uso del automóvil en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia

Una vez dicho lo anterior, fue posible determinar que el rendimiento económico tuvo una variación del -54.73% con una TCA-6.95% pasando de un rendimiento inicial del 46.96% en 2005 al 21.26% en 2015% (véase cuadro 39).

AÑO	R <sup>económico</sup> (%)	Δ%
2005	46.96	N.A.
2006	44.54	-5.14
2007	44.63	0.20
2008	45.22	1.31
2009	44.81	-0.89
2010	32.93	-26.51
2011	27.19	-17.42
2012	19.04	-30.00
2013	19.38	1.82
2014	22.74	17.34
2015	21.26	-6.53
<b>Media</b>	<b>33.52</b>	<b>-6.58</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>11.86</b>	<b>-6.58</b>
<b>Inc. % total</b>	<b>-54.73</b>	<b>N.A.</b>
<b>TCA</b>	<b>-6.95</b>	<b>N.A.</b>

Cuadro 39. Rendimiento económico del uso del automóvil en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Elaboración propia.

### 6.3.3. Rendimiento Ecológico 2005-2015.

En Hermosillo, Sonora, el volumen de carbono empleado para la operación de los automóviles tuvo una variación del -39.21% con TCA del -4.42% en el periodo comprendido entre los años 2005 y 2015, pasando de 1,560.31mTon de carbono a principios del periodo a 948.45mTon a finales del periodo, eso implica que la intensidad de emisiones por automóviles (Kg C/Automóvil) tuvo una variación del -57.82% con una TCA del -7.55% (véase cuadro 40).

<b>AÑO</b>	<b>No. Autos</b>	<b>CC<sup>1</sup> (mTon C)</b>	<b>Kg C/Automóvil</b>
2005	207,060.00	1560.31	7,535.57
2006	239,022.00	1417.22	5,929.25
2007	263,582.00	1500.78	5,693.77
2008	274,637.00	1388.26	5,054.88
2009	285,218.00	1587.10	5,564.49
2010	292,090.00	864.33	2,959.14
2011	296,593.00	798.35	2,691.73
2012	263,679.00	755.07	2,863.61
2013	273,226.00	777.31	2,844.94
2014	292,791.00	890.23	3,040.48
2015	298,373.00	948.45	3,178.73
<b>Media</b>	<b>271,479.18</b>	<b>1,135.22</b>	<b>4,305.14</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>27,859.05</b>	<b>348.78</b>	<b>1,692.42</b>
<b>Inc. % total</b>	<b>44.10</b>	<b>- 39.21</b>	<b>-57.82</b>
<b>TCA</b>	<b>3.38</b>	<b>-4.42</b>	<b>- 7.55</b>

Cuadro 40. Miles de toneladas de carbono empleadas para el funcionamiento de los automóviles e intensidad de consumo de carbono por vehículo en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, las emisiones de carbono a la atmósfera, al igual que el valor de CC1, mantuvo una tendencia a la baja, pasando de 1,481.95mTon de carbono en el año 2005 a 918.04mTon en 2015 es decir, una variación del -38.05% con una TCA -4.26%, mientras que la intensidad de emisiones por persona (Kg C/Persona) pasaron de 2,111kg a 1,045.55kg, lo que significó una variación del -50.48% con una TCA del -6.19% (véase cuadro 41)



AÑO	No. Habitantes	CC <sup>2</sup> (mTon. C)	Kg C/Persona
2005	701,838.00	1,481.95	2,111.53
2006	717,613.50	1,342.85	1,871.28
2007	733,743.58	1,424.99	1,942.08
2008	750,236.23	1,353.06	1,803.51
2009	767,099.59	1,502.79	1,959.06
2010	784,342.00	827.52	1,055.04
2011	802,246.70	774.16	964.99
2012	820,560.12	744.66	907.51
2013	839,291.59	766.57	913.35
2014	858,450.66	862.57	1,004.80
2015	878,047.09	918.04	1,045.55
<b>Media</b>	<b>786,679.01</b>	<b>1,090.83</b>	<b>1,416.25</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>58,433.51</b>	<b>322.98</b>	<b>506.37</b>
<b>Inc. % total</b>	<b>25.11</b>	<b>-38.05</b>	<b>-50.48</b>
<b>TCA</b>	<b>2.06</b>	<b>-4.26</b>	<b>- 6.19</b>

Cuadro 41. Miles de toneladas de carbono emitidas por el funcionamiento de los automóviles e intensidad de emisiones de carbono por habitante de Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, tenemos que el rendimiento ecológico, paso de 3.57 personas a las que se les transfieren anualmente 2,111.53kg de carbono a cada una en 2005 a 3.02 personas que se les transfieren 506.37kg de carbono anualmente en el año 2015; es decir una variación del -14.81% con una TCA del -1.45% (véase cuadro 42).

AÑO	Kg/Automóvil	Kg C/Persona	R Ecológico ( $CC^1 * \text{Automóvil}^1 / CC^2 * \text{Persona}^{-1}$ )
2005	7,535.57	2,111.53	3.57
2006	5,929.25	1,871.28	3.17
2007	5,693.77	1,942.08	2.93
2008	5,054.88	1,803.51	2.80
2009	5,564.49	1,959.06	2.84
2010	2,959.14	1,055.04	2.80
2011	2,691.73	964.99	2.79
2012	2,863.61	907.51	3.16
2013	2,844.94	913.35	3.11
2014	3,040.48	1,004.80	3.03
2015	3,178.73	1,045.55	3.04
<b>Media</b>	<b>4,305.14</b>	<b>1,416.25</b>	<b>3.02</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>1,692.42</b>	<b>506.37</b>	<b>0.23</b>
<b>Inc. % total</b>	<b>-57.82</b>	<b>-50.48</b>	<b>-14.81</b>
<b>TCA</b>	<b>-7.55</b>	<b>- 6.19</b>	<b>-1.45</b>

Cuadro 42. Rendimiento ecológico en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

#### 6.4. Índice de Rendimiento ambiental.

Continuando con el orden de los resultados, a continuación, se muestran los resultados correspondientes al índice de rendimiento energético, económico y ecológico (véase cuadro 43)

<b>AÑO</b>	<b>IR<sup>Energético</sup></b>	<b>IR<sup>Económico</sup></b>	<b>IR.<sup>Ecológico</sup></b>
2005	0.83	0.70	0.81
2006	0.83	0.68	0.83
2007	0.83	0.68	0.85
2008	0.85	0.69	0.86
2009	0.83	0.68	0.85
2010	0.86	0.54	0.86
2011	0.86	0.46	0.86
2012	0.87	0.29	0.84
2013	0.85	0.30	0.84
2014	0.83	0.37	0.84
2015	0.82	0.34	0.84
<b>Media</b>	<b>0.84</b>	<b>0.52</b>	<b>0.84</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>0.02</b>	<b>0.17</b>	<b>0.01</b>
<b>Inc. % total</b>	<b>-1.58</b>	<b>-51.24</b>	<b>4.24</b>
<b>TCA</b>	<b>-0.14</b>	<b>-6.32</b>	<b>0.38</b>

Cuadro 43. Índice de rendimiento energético, económico y energético del uso del automóvil en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.  
Fuente: Elaboración propia.

Como se pudo observar en el cuadro 42, fue el IR<sup>Económico</sup> el que presento una mayor variación en el periodo comprendido entre el 2005 y el 2015, pasando de 0.70 en 2005 a 0.34 en 2015, lo que significó una variación del -51.24% a una TCA del -6.32, seguido por el IR<sup>Energético</sup>, con una variación del -1.58% a una TCA del -0.14%, finalmente el IR<sup>Ecológico</sup> que tuvo una variación con tendencia positiva, de un 4.24% a una TCA del 0.38%.

Atendiendo los resultados obtenidos de la ecuación 13, a continuación, se muestra el IR<sup>ambiental</sup> para cada uno de los años estudiados (véase cuadro 44)

<b>AÑO</b>	<b>IR Ambiental</b>
2005	0.78
2006	0.78
2007	0.79
2008	0.80
2009	0.79
2010	0.75
2011	0.73
2012	0.67
2013	0.66
2014	0.68
2015	0.67
<b>Media</b>	<b>0.74</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>0.06</b>
<b>Inc. % total</b>	<b>-14.49</b>
<b>TCA</b>	<b>-1.41</b>

Cuadro 44. Índice de Rendimiento ambiental del uso del automóvil en Hermosillo, Sonora 2005-2015.  
Fuente: Elaboración propia.

Como resultado final se obtiene que el rendimiento ambiental presento una variación negativa pasando de un IR ambiental de 0.78 en 2005 a 0.67 en 2015, es decir, una variación del -14.49% con una TCA del -1.41% (véase cuadro 44)

## 7. INTERPRETACION DE RESULTADOS DEL ESTUDIO DE CASO: SPMU DE HERMOSILLO. SONORA, 2005-2015

### 7.1. En lo Referente al Objetivo Específico 1

#### 7.1.1. Energía Transformada en Fuentes Móviles y Emisiones de CO<sub>2</sub> Producidas

En Hermosillo, Sonora, durante el periodo comprendido entre los años 2005 y 2015, el consumo de energía para el uso del automóvil, específicamente el consumo de gasolina, mantuvo una TCA promedio del 2.48%, mientras que la energía no aprovechable se incrementó a una TCA de 2.46%, esto derivado del incremento de las emisiones de carbono a la atmósfera provenientes de la quema de combustibles en fuentes móviles (véase imagen 26 y 27). Dicha situación se presentó debido a que el incremento del parque vehicular mantuvo tasas de crecimiento promedio del 3.38% (INEGI, 2017b).

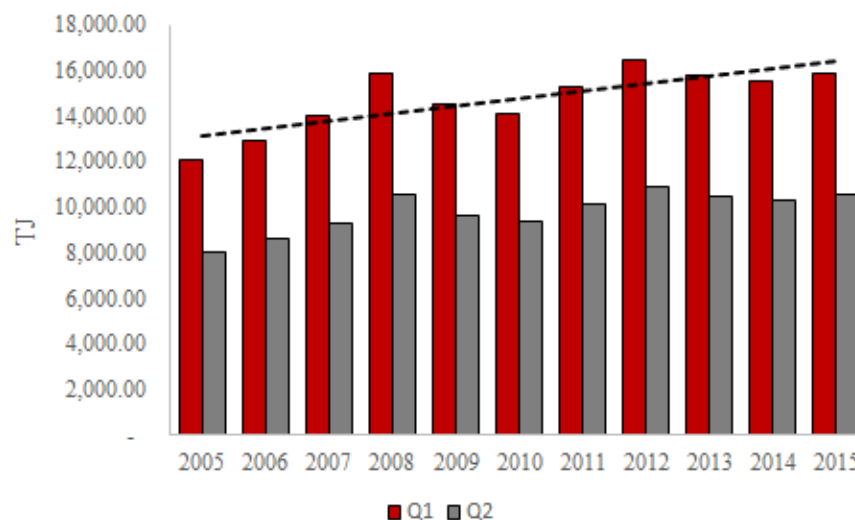


Imagen 26. Crecimiento del calor empleado y el calor no aprovechable en fuentes móviles en Hermosillo, Son., 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

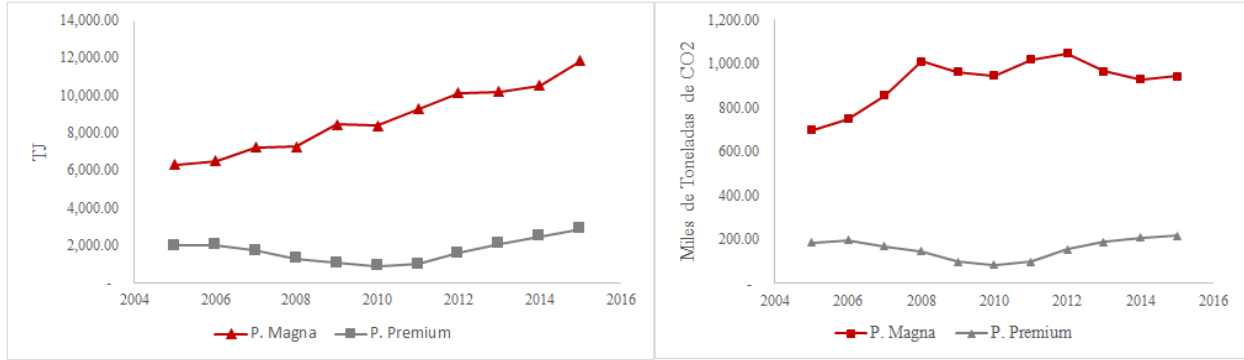


Imagen 27. Variación consumo de Energía y emisión de carbono a la atmósfera por la quema de combustibles en fuentes móviles en Hermosillo, Son., 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

En el periodo en cuestión se estimó que el KVR del municipio de Hermosillo, Son., presentaba un valor aproximado de 52km; con base en este indicador se estimó que el rendimiento del automóvil promedio, tuvo una variación positiva del 9.14% que paso de 3.082MJ/Km en el año 2005 a 2.80MJ/Km en el año 2015, con una TCA del 0.87% (véase imagen 28), ; sin embargo, a simple vista se observa un dato que se encuentra muy por encima de la media, dicho valor corresponde al rendimiento correspondiente al año 2012. Este valor se explica debido a que en dicho año se presentó un número de nuevos vehículos registrados, muy por debajo de otros años anteriores y subsecuentes, lo que implicó un alza en el consumo de energía por kilómetro recorrido, debido a que la tendencia en la demanda de transporte no se redujo, esto determinado por el crecimiento de la demanda de gasolinas (véase imagen 29)

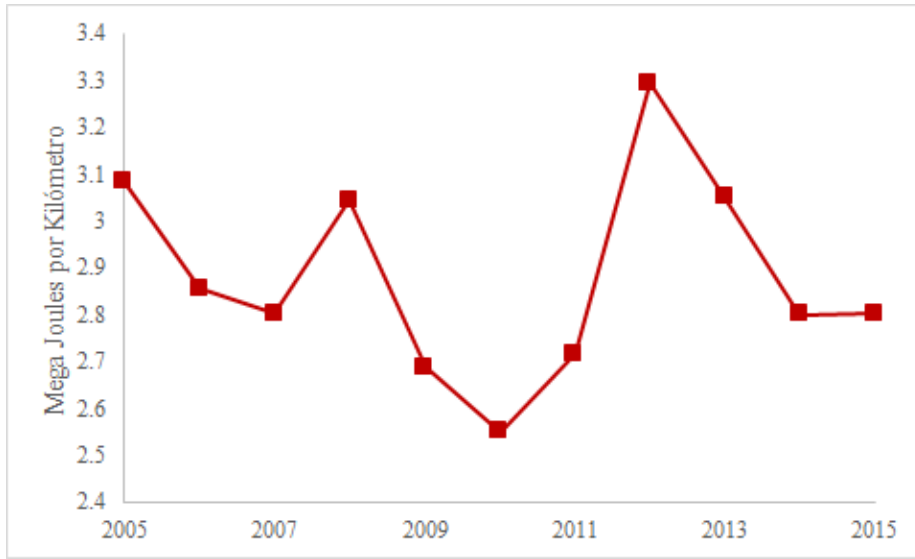


Imagen 28. Variación del Rendimiento del automóvil (MJ/Km) en Hermosillo, Son., 2005-2015.  
Fuente: Elaboración Propia.

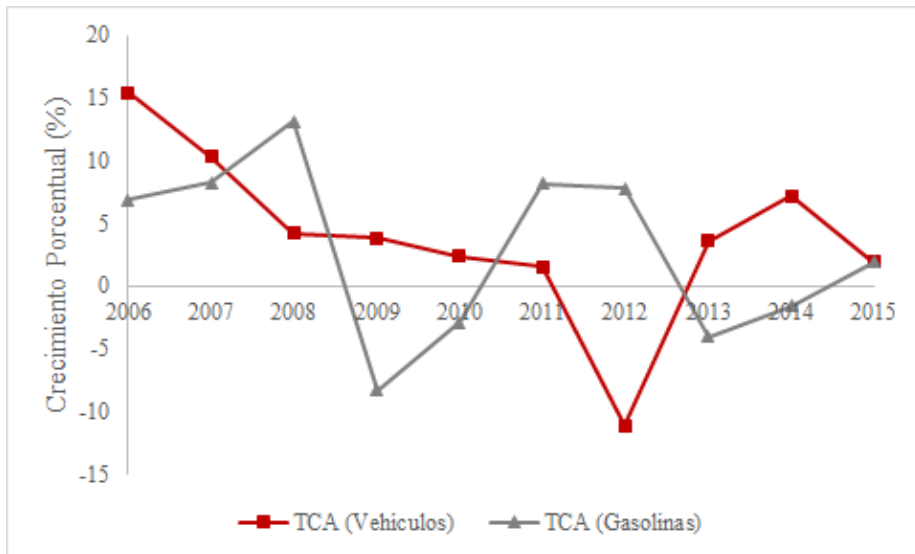


Imagen 29. Variación de la tasa de crecimiento del crecimiento del parque vehicular y el consumo de gasolinas en Hermosillo, Son., 2005-2015.  
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se puede argumentar que el rendimiento del automóvil promedio en Hermosillo, Son., del año 2005 al año 2015, estimado a partir del calor no aprovechado que el sistema cedió al medio a través de las emisiones de carbono a la atmósfera tuvo un incremento del 0.35% total, con un aprovechamiento de energía promedio anual del 33.53%.

### 7.1.2. Energía Transformada en Fuentes Fijas para la Adquisición de Bienes Energéticos y de Transporte y sus Emisiones Derivadas.

La energía necesaria para adquirir bienes energéticos, es decir el calor producido para generar una cantidad de dinero determinada que sirvió para la compra de gasolinas se incrementó por tres factores principales, el primero, el incremento en la demanda de energía, el segundo, el incremento en el precio de las gasolinas y el tercero, el incremento del precio al público de la energía eléctrica proveniente de fuentes fijas. De acuerdo con el precio al público de petrolíferos publicado por SENER, (2019) y el precio al público de la energía eléctrica también publicado por SENER, (2019b), los precios nominales de ambos tipos de energía se incrementaron en el periodo establecido (véase imagen 30), lo que significó que el costo económico para adquirir bienes energéticos se halla incrementado de igual manera (véase imagen 31).

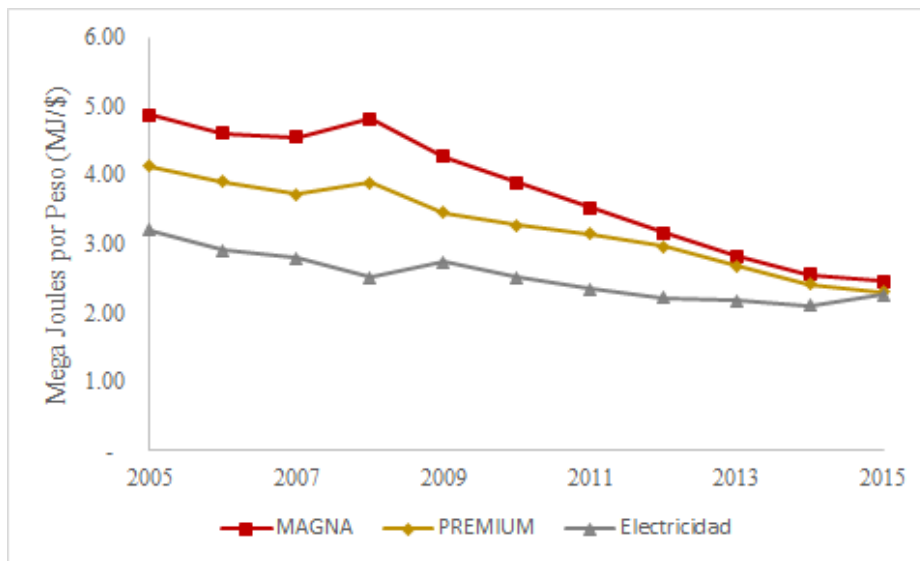


Imagen 30. Costo de la energía eléctrica, la gasolina PEMEX Magna y PEMEX Premium, en Hermosillo, Son.,

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER.

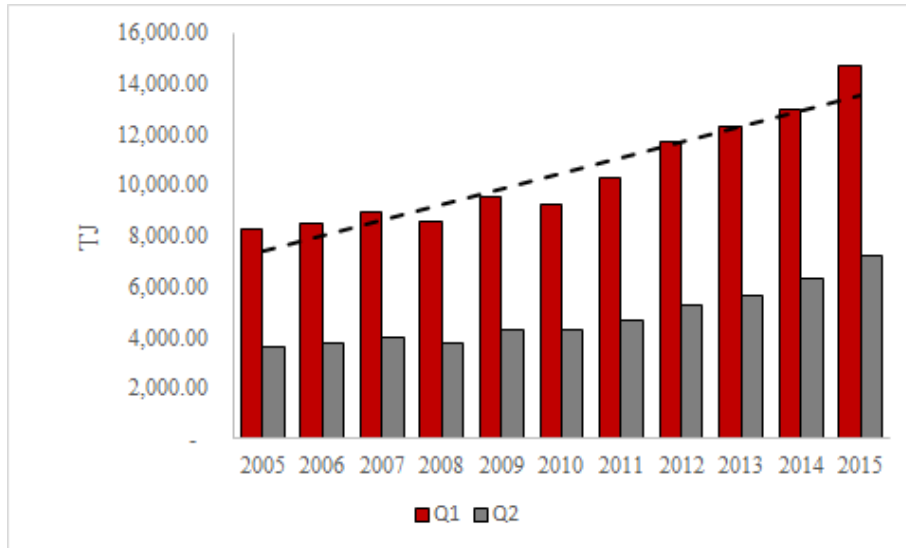


Imagen 31. Calor empleado y calor no aprovechado en la generación de energía para adquirir bienes energéticos en Hermosillo, Son., 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

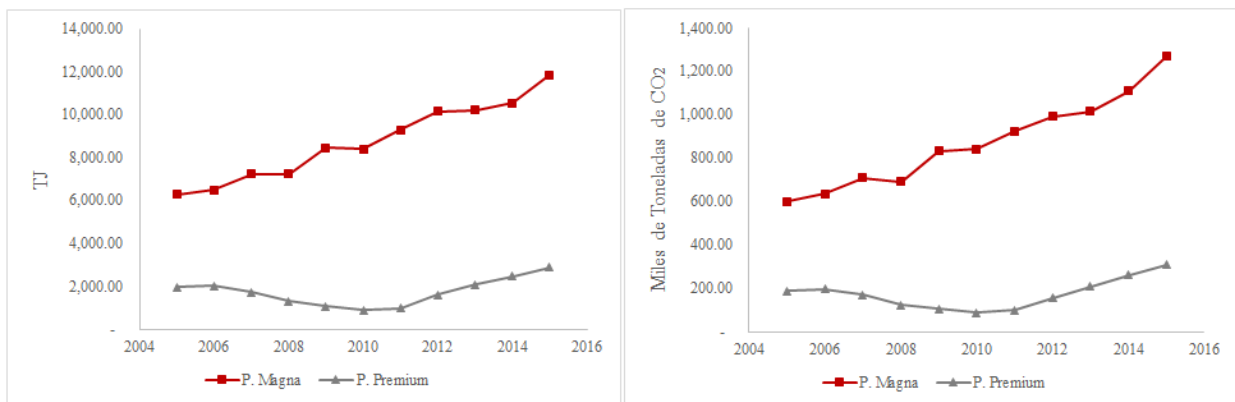


Imagen 32. Energía empleada y emisiones de dióxido de carbono emitidas a la atmósfera, derivados de la adquisición de bienes energéticos en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

Refiriéndonos a la imagen 32 podemos notar que la variación del calor empleado para adquirir bienes energéticos presento una variación positiva del 78.30% con una TCA del 5.40%, mientras que el calor no aprovechado derivado del calor transferido del sistema al medio, a través de las emisiones de carbono a la atmósfera tuvo un crecimiento del 99.60% con una TCA del 6.48%. Tal situación fue dada por factores exógenos al SPMU, tales como el cambio de la tecnología empleada para la producción de energía en fuentes fijas, el cambio y sustitución de algunos combustibles



empleados en fuentes fijas, entre otros. Sin embargo, es importante recalcar el incremento de la cantidad de energía empleada para adquirir energía, ya que, para adquirir un litro de combustible de gasolina PEMEX MAGNA, que en promedio contenía, 32,204.93KJ se requirieron 22,221.33KJ y para adquirir la misma cantidad de energía de PEMEX PREMIUM, se requirieron 25,296KJ (véase imagen 33).

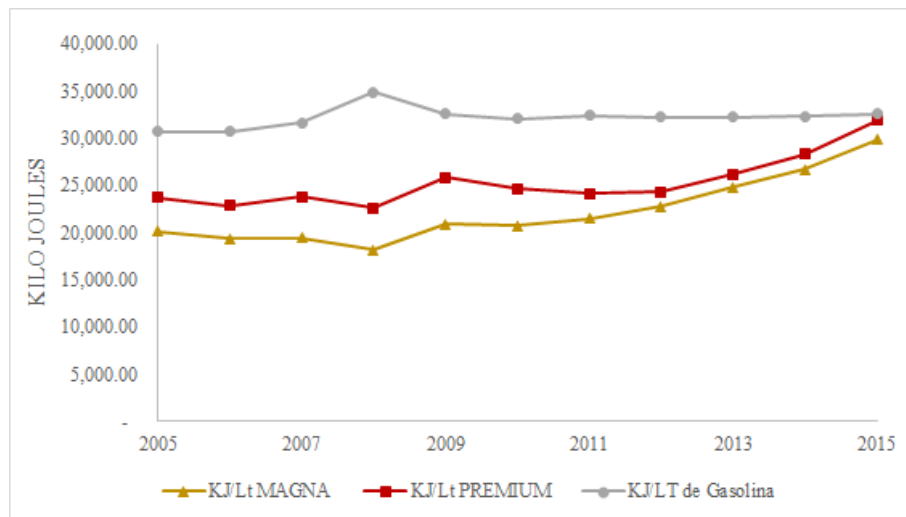


Imagen 33. Costo energético para adquirir gasolinas, por tipo de combustible en Hermosillo, Son., 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

Siendo así que las variaciones en el costo energético para adquirir la gasolina PEMEX MAGNA y PREMIUM tuvieron unos crecimientos similares, del 14.58% con una TCA del 1.24% y 10.54% con una TCA del 0.52% respectivamente, es decir que el costo energético para adquirir una cantidad de energía determinada se ha incrementado considerablemente, casi al punto de invertir una cantidad de energía igual a la cantidad de energía que se espera obtener, en el caso particular de la gasolina PEMEX PREMIUM.

Finalmente, en materia de energía, específicamente hablando de la energía para adquirir bienes de transporte, se observó una drástica caída en el consumo energético para dicho objeto, esto, determinado por la contracción en los registros de nuevos vehículos en el municipio de Hermosillo, Sonora, durante el periodo establecido, tomando en cuenta que el cálculo para la estimación del gasto monetario, se realizó tomando como año base el año 2005, es decir asumiendo que el pago

inicial de los vehículos se dio en dicho año. Sin embargo, se observó que la caída en el registro de nuevos vehículos se dio a partir del año 2009, teniendo su punto más bajo en el año 2012 y posteriormente, observándose un ligero repunte en la tendencia a partir del año 2013 (véase imagen 34) Dichos datos concuerdan con la tendencia nacional reportada por el INEGI, (2019) referente a la venta de autos nuevos, la cual se vio afectada de manera negativa a partir del año 2008, por factores como la crisis económica detonada por la crisis inmobiliaria de dicho año en Estados Unidos (véase imagen 35).

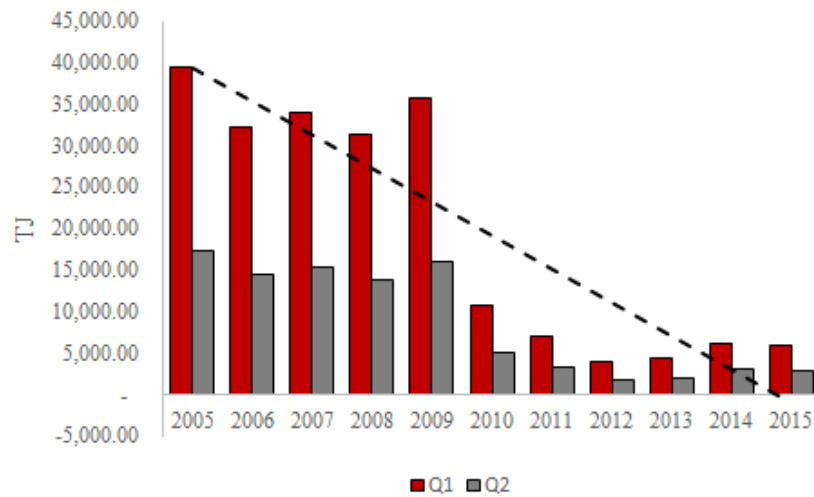


Imagen 34. Energía empleada y calor no aprovechado para la adquisición de automóviles en Hermosillo, Son., 2005-2015.  
Fuente: Elaboración propia.

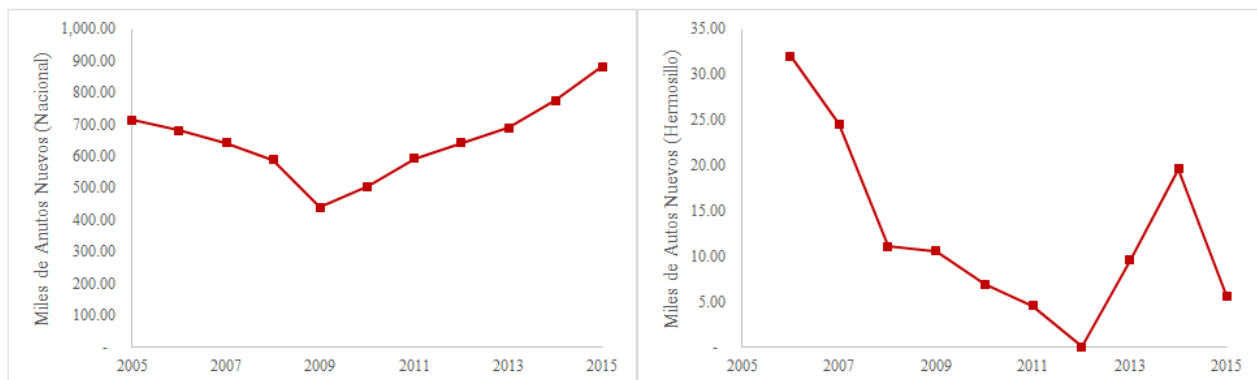


Imagen 35. Venta de automóviles nuevos a nivel nacional y vehículos nuevos registrados en Hermosillo, Son. 2005-2015.  
Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI, (2019).

Derivado de la contracción en el crecimiento del parque vehicular en el municipio y por ende la reducción de la energía empleada para adquirir dicho parque, se observó la variación de las emisiones de dióxido de carbono sostuvo una contracción con la misma tendencia (véase imagen 36).

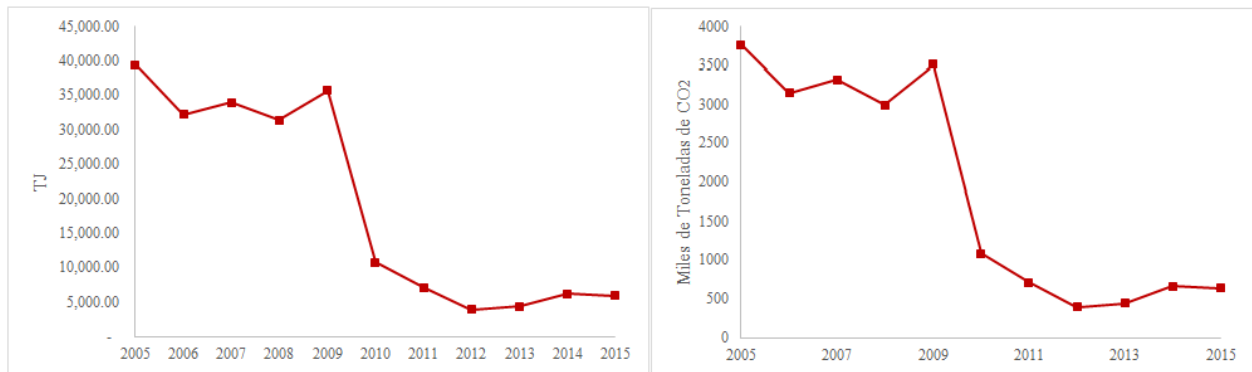


Imagen 36. Variación en la energía empleada para adquirir bienes de transporte y emisiones de carbono asociadas en Hermosillo, Son., 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

Si bien es posible argumentar que se redujo el gasto energético neto en la adquisición de vehículos nuevos, esto resulta no ser del todo correcto, debido a que, de acuerdo a los resultados obtenidos, el costo energético neto por vehículo sufrió un incremento considerable. Si se observa la imagen 37 se puede notar que a partir del año 2009 el costo energético por vehículo se vino abajo, debido a que durante ese periodo se redujo la tasa de registro de nuevos vehículos en el municipio, para posteriormente, a partir del año 2013 iniciar un proceso de estabilización y/o repunte.

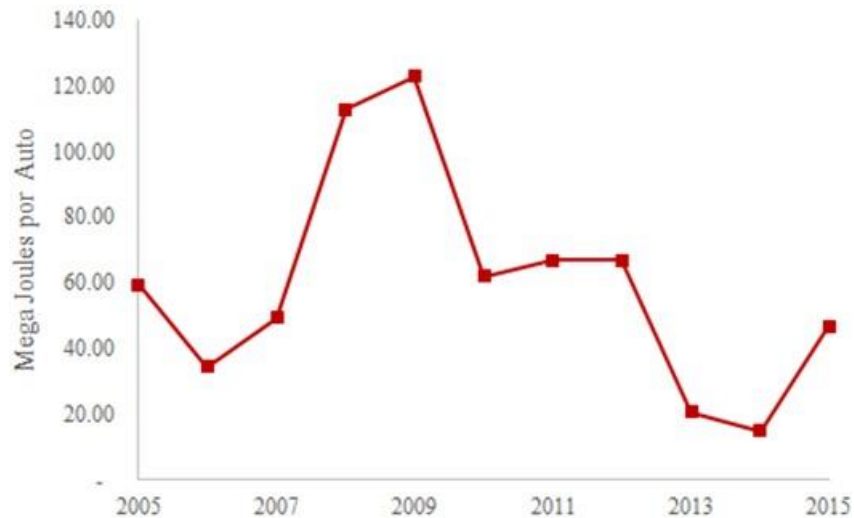


Imagen 37. Gasto Energético Neto anual para la adquisición de vehículos en Hermosillo, Son., 2005-2015.  
Fuente: Elaboración propia

## 7.2. En lo Referente al Objetivo Específico 2

Como ya se mencionó con anterioridad, el objetivo específico 2, consiste en internalizar las externalidades o deseconomías externas del mercado, en este caso, las emisiones de CO<sub>2</sub>, generadas por dos actividades que conviven dentro del mismo sistema, en primer caso, las derivadas por la transformación de energía química en energía mecánica, mediante la quema de gasolinas en automóviles, y en segundo caso, las derivadas de la transformación de energía química en energía eléctrica, empleada posteriormente en la generación de capital destinado para la adquisición de energía química (gasolinas) o de bienes de transporte (automóviles y su costos asociados).

Ahora bien, en el caso de los costos asignados a las emisiones de carbono por la quema de combustibles en fuentes móviles, se incrementaron en menor intensidad que el costo de la energía por sí misma (véase imagen 38) como ya se mencionó en el capítulo anterior, situación que se presentó debido a la mejora en la eficiencia del parque vehicular, asociada al cambio tecnológico e inclusive la mejora en la infraestructura en el periodo establecido.

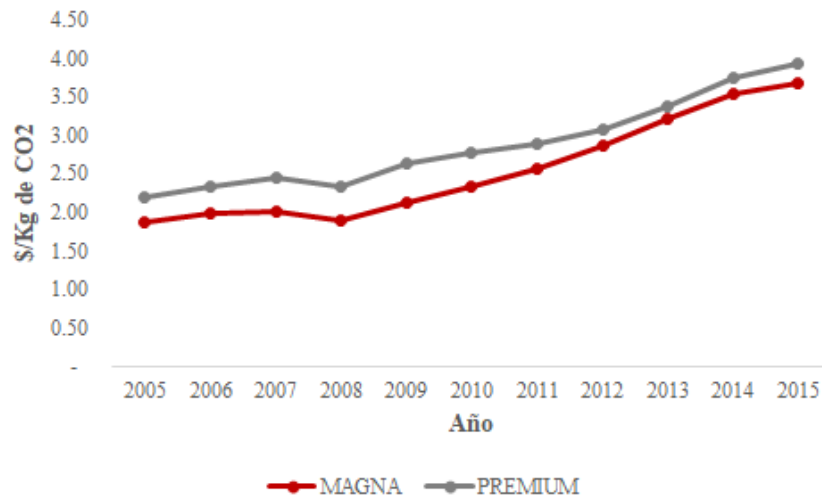


Imagen 38. Crecimiento del costo de las emisiones de CO2 derivadas del consumo de gasolina en automóviles de Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración Propia.

Sin embargo, la valoración, que, si bien es un objetivo específico de la presente investigación, implica limitaciones éticas, políticas y de mercado, debido a que dicho monto, en un principio, ya fue asumido por los consumidores de los energéticos, por lo que reasignar dicho monto nuevamente a los consumidores, inflaría el costo final de los energéticos, repercutiendo directamente en el rendimiento energético final del sistema.

Empero, tomando el supuesto de que el consumidor ya pago impuestos al carbono, derivados de la transacción mercantil de adquirir el bien energético (gasolinas), podemos asumir que el consumidor, “en teoría” ya pago por las emisiones generadas. Sin embargo, en el caso de los combustibles en México, el monto del impuesto de los combustibles, en este caso integrado en el Impuesto Especial sobre Producción y Servicios (IEPS) ha sido menor en comparación con el costo real de las emisiones, derivado de las pérdidas energéticas, de acuerdo con cifras proporcionadas por el Gobierno de México, (2019) e inclusive, el valor de dicho impuesto ha tenido un valores negativos- entendido como subsidio- (véase cuadro 45).

AÑO	IEPS (\$/Lt)	
	P. Magna	P. Premium
2005	0.50	0.86
2006	-0.46	-0.26
2007	-0.72	-0.48
2008	-2.13	-1.70
2009	-0.32	0.02
2010	-1.19	-0.90
2011	-2.56	-2.71
2012	-2.93	-3.95
2013	-1.27	-2.40
2014	-0.43	-1.61
2015	2.64	1.50

Cuadro 45. Variación del IEPS en las gasolinas vendidas en México 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Sistema Nacional de Información Ambiental y Recursos Naturales, Gobierno de México, (2019).

Si bien dicho impuesto actualmente contempla un componente referente al carbono, esto no fue así durante todo el periodo de análisis, sino hasta el año 2014, donde se implementó el impuesto al carbono, establecido en la Ley General de Cambio Climático en México, el cual de acuerdo con Oronoz & Piquero,( 2019) rondaba entre 10.3 y 10.8 centavos por litro vendido, valor muy por debajo del costo de la pérdida de energía.

De manera paralela, la variación del costo de las emisiones derivadas de la adquisición de bienes de transporte y/o energéticos, mantuvo una tendencia similar al incremento de costo al público de la energía eléctrica (véase imagen 39). Dicha situación se presentó debido al incremento en los costos de bienes de transporte en el Municipio, el crecimiento del parque vehicular y por ende, el incremento en el consumo de combustibles en la región.

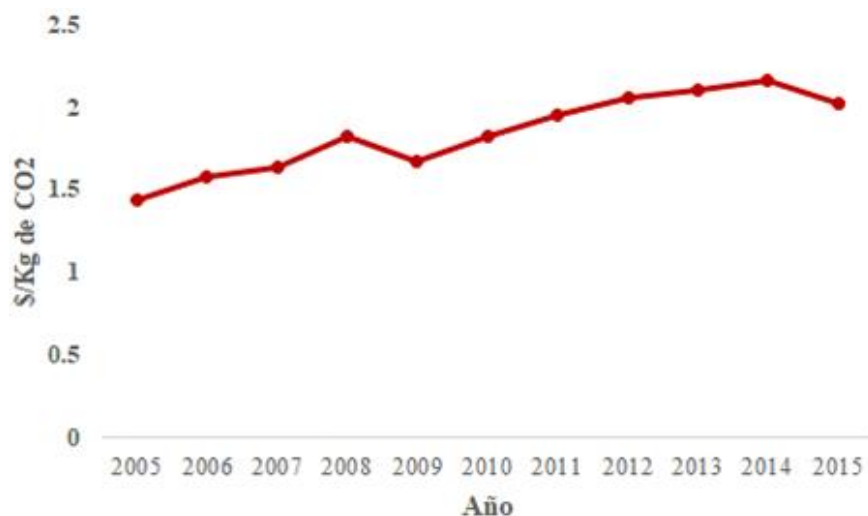


Imagen 39. Variación del costo de las emisiones de dióxido de carbono derivadas de la adquisición de bienes de transporte y energéticos.

Fuente: Elaboración propia.

### 7.3. En lo Referente al Objetivo Específico 3

#### 7.3.1. Gasto Monetario en la Compra de Energéticos y Pérdidas Monetarias en el Proceso de Combustión en Fuentes Móviles.

El gasto monetario neto destinado a la compra de energéticos, se incrementó considerablemente, 152.51% con una TCA del 8.79%, mientras que las pérdidas económicas derivadas de las pérdidas energéticas derivadas de las emisiones de carbono provenientes de la quema de combustible en fuentes fijas, se incrementaron con una tendencia similar, 152.02% con una TCA ligeramente menor de 8.77%. Este fenómeno se dio a causa del incremento de la demanda de energía y al incremento de los costos energéticos exacerbado por el retiro gradual del subsidio a las gasolinas a inicios del sexenio 2006-2012. García S. & Flores A., (2018) mencionan que la demanda de energía en México se ha incrementado con tasas superiores al 1 por ciento, además de la característica particular de que el consumo per cápita de gasolinas en México, supera los consumos de países europeos como Alemania, España y el Reino Unido.

En dicho periodo de análisis el crecimiento de la demanda superó el crecimiento de la oferta, propiciando un desequilibrio en la balanza comercial, obligado al país a importar gran parte de la gasolina que se consumió, fenómeno que fue participe del incremento del costo de la energía,

ejemplo de esto es que el precio de la gasolina PEMEX PREMIUM y PEMEX MAGNA, se incrementó en un 39% y 43% entre los años 2000 y 2010.

Tal incremento de los costos de los energéticos, detonó directamente en el incremento del costo de la energía disipada, de acuerdo al modelo metodológico establecido. Ya que, para asignar un precio a las emisiones de carbono, se parte del precio de mercado de la fuente de este (véase imagen 40).

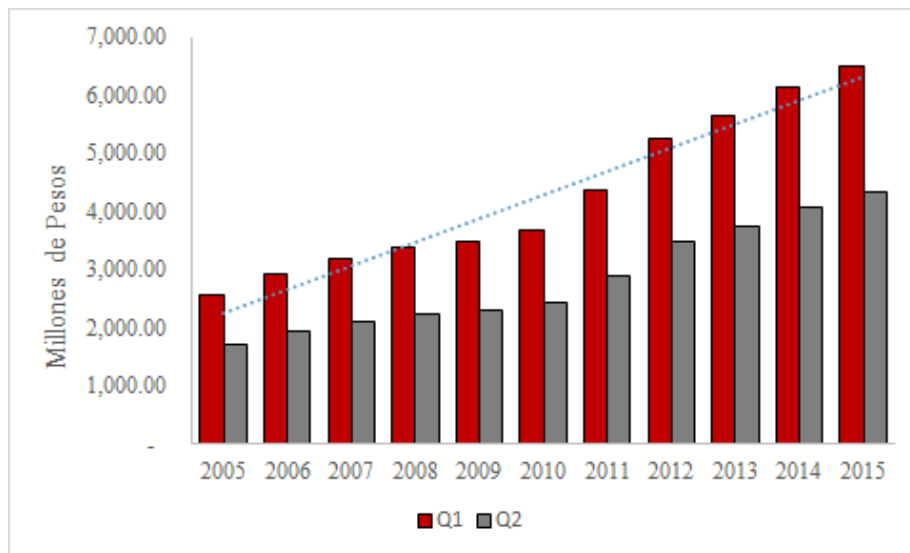


Imagen 40. Variación del crecimiento del gasto monetario y las pérdidas monetarias por la adquisición de gasolinas y la combustión de ésta en fuentes móviles en Hermosillo, Son., 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

### 7.3.2. Gasto Monetario en la Compra de Energéticos y Pérdidas Monetarias en el Proceso de Combustión en Fuentes Fijas

Por otro lado, si bien ya mencionamos el incremento de la energía empleada para adquirir gasolinas y el incremento en el gasto neto para adquirir gasolinas, en comparación con fuentes móviles, las pérdidas económicas provenientes de generar la energía para producir la renta necesaria que se destinó para adquirir gasolinas, fueron significativamente menores a las emisiones producidas por la transformación de la energía química en energía mecánica. Como se puede ver en la imagen 41, las pérdidas económicas derivadas de dicha actividad se incrementaron en un 101.99% con una



TCA del 6.60%, lo que implicó que, por cada peso invertido en adquirir la gasolina, en el sistema energético donde se transformó la energía para producir la renta perdió \$0.26 en promedio, cifra significativamente menor que en las pérdidas en fuentes móviles que fueron de \$0.66 por cada peso invertido.

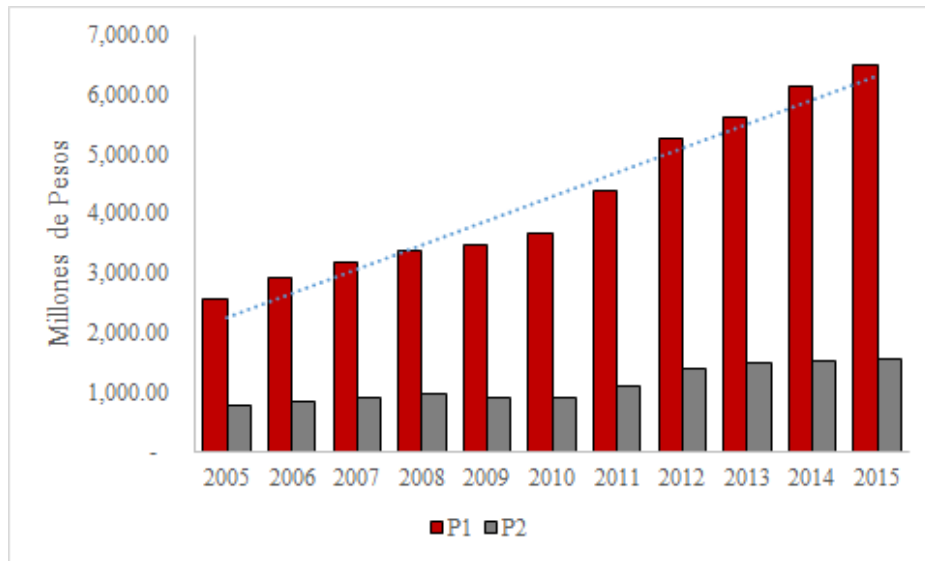


Imagen 41. Gasto monetario y pérdidas económicas propias de la compra de gasolinas y la combustión de energéticos en fuentes fijas para producir la energía necesaria para adquirir las gasolinas en Hermosillo, Son., 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en materia de costos y pérdidas económicas, se presentan los resultados correspondientes al gasto monetario para la adquisición del parque vehicular y las pérdidas económicas derivadas de los procesos de transformación de la energía en fuentes fijas.

Y es en esta actividad, donde observamos el mismo fenómeno mostrado en el gasto energético, ya que si bien, el gasto monetario se redujo en términos globales (véase imagen 42), en términos unitarios, el costo por vehículo sufrió una tendencia al alza con contracciones temporales derivadas de fenómenos exógenos como la contracción de la venta de nuevos vehículos.

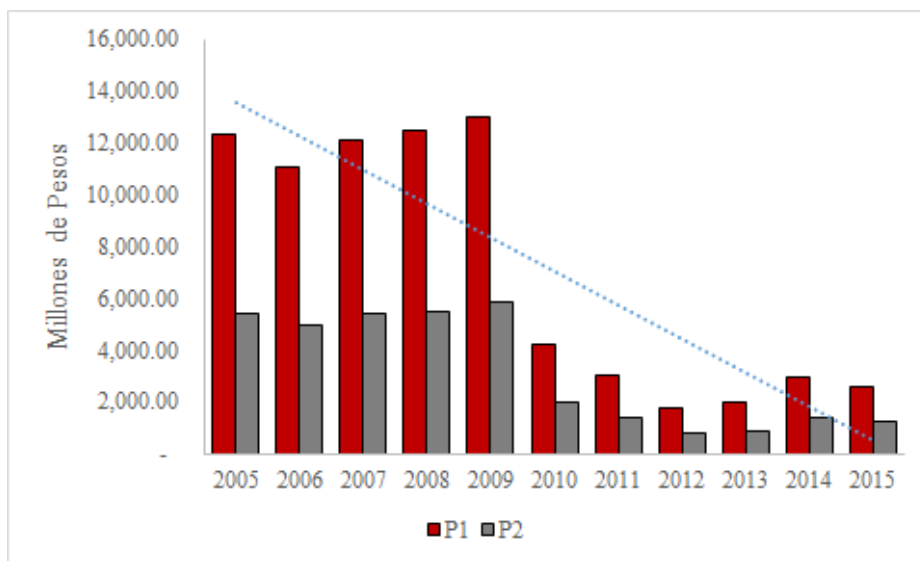


Imagen 42. Gasto económico y pérdidas económicas propias de la adquisición del parque vehicular y la combustión de energéticos en fuentes fijas para producir la energía necesaria para adquirir bienes de transporte en Hermosillo, Son., 2005-2015  
Fuente: Elaboración propia.

#### 7.4. En lo Referente al Objetivo Específico

##### 7.4.1. Índice de Rendimiento Energético

Como es posible notar en la imagen 43, el rendimiento energético del SPMU de Hermosillo, Son., en la década del 2005 al 2015, mantuvo una tendencia positiva durante los primeros 7 años, sin embargo, fue a partir del año 2012, cuando el rendimiento energético se precipitó estrepitosamente. Dicho fenómeno, tal y como se mencionó con anterioridad, se debe principalmente al incremento en el precio de los energéticos atribuido al retiro del subsidio a las gasolineras, además del incremento en el precio de los automóviles y la caída en la venta o registro de nuevos vehículos, lo que implicó una mayor demanda de transporte en menos unidades.

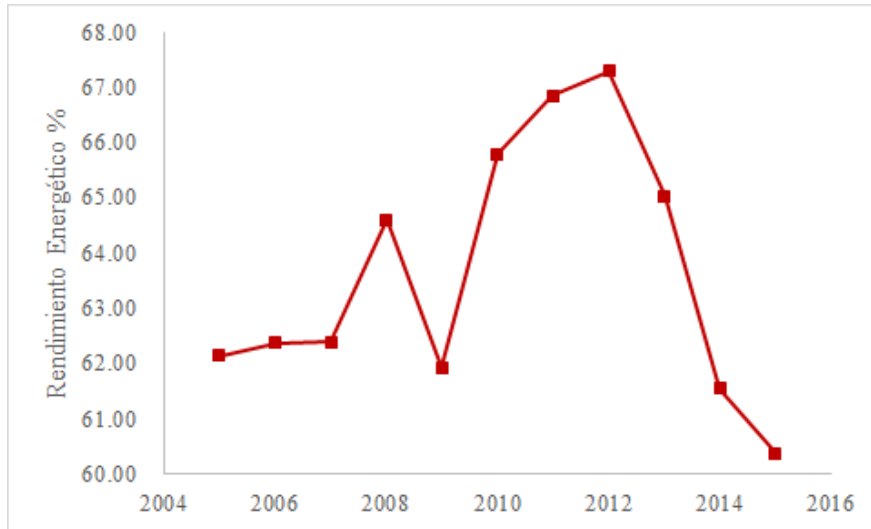


Imagen 43. Variación del índice de rendimiento energético (%) del SPMU en Hermosillo, Son., 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, esta situación se explica gracias a que si bien, el consumo de energía por distancia recorrida se redujo, existió una diferencia importante entre la tasa de crecimiento de la energía que ingresa al sistema (Q1) y la energía disipada (Q2), lo que se manifestó en la reducción de la brecha entre ambas, tal y como se ve en la imagen 44.

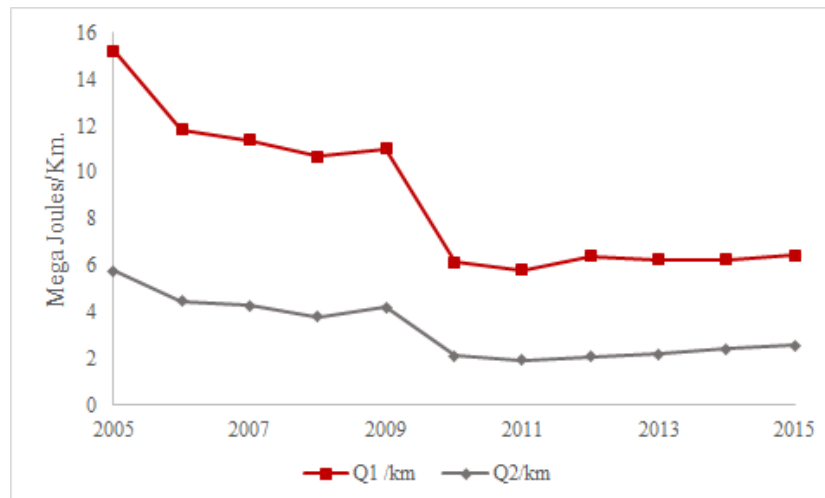


Imagen 44. Variación de la energía suministrada vs energía perdida del SPMU en Hermosillo, Son., 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

En este tenor, la variación en el rendimiento energético, se explica aún mejor con el índice de rendimiento económico, ya que este contempla variables de precios de los energéticos, así como el valor de la energía disipada con base en dichos precios. Veamos pues, cual fue el comportamiento de dicho índice.

#### 7.4.2. Índice de Rendimiento Económico.

De acuerdo con la imagen 45, observamos que la variación del índice de rendimiento económico, se asemejó más a la variación de las ventas y/o registro de nuevos vehículos, debido a que dicha variable tuvo un peso significativo en el comportamiento de dicho indicador. Una explicación más concisa referente a dicho fenómeno, indica que el incremento del precio de los bienes energéticos y de transporte, impactaron considerablemente en la demanda de dichos bienes, pero aún más notorio en los bienes de transporte, ya que fue la actividad que más se ha visto afectada por dicho fenómeno. Además, el incremento del precio de la energía no solamente se observa en el costo de la energía suministrada al SPMU, sino también en el costo de la energía disipada, cuyo precio teóricamente es igual al de la energía suministrada.

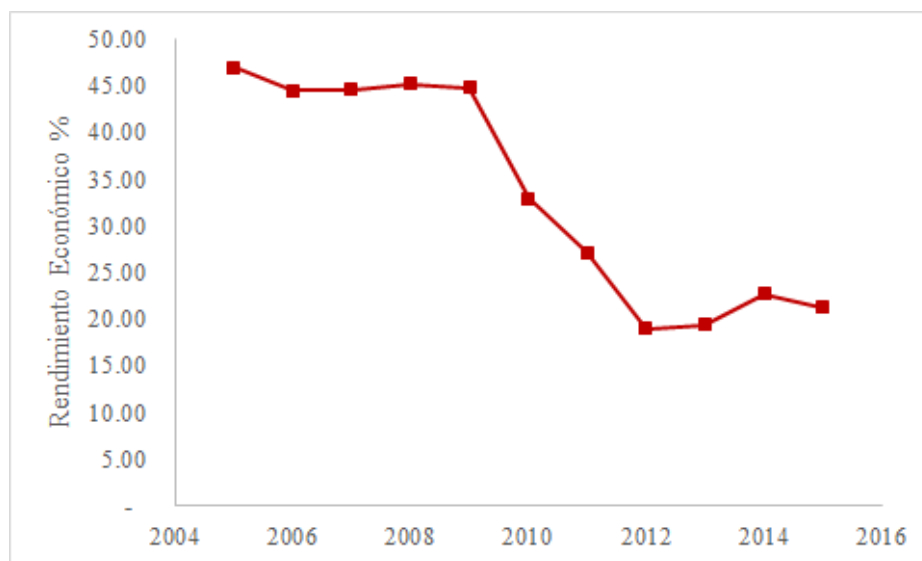


Imagen 45. Variación del índice de rendimiento económico del SPMU en Hermosillo, Son., 2005-2015.  
Fuente: Elaboración propia.

Como tal, la tendencia negativa en la variación del rendimiento energético, es una manifestación de la contracción en el crecimiento del parque vehicular, la reducción en la demanda de energía, pero aún más importante, el incremento en el precio de la energía, que, sin duda tuvo fuertes implicaciones en las dos variables anteriores (véase imagen 46).

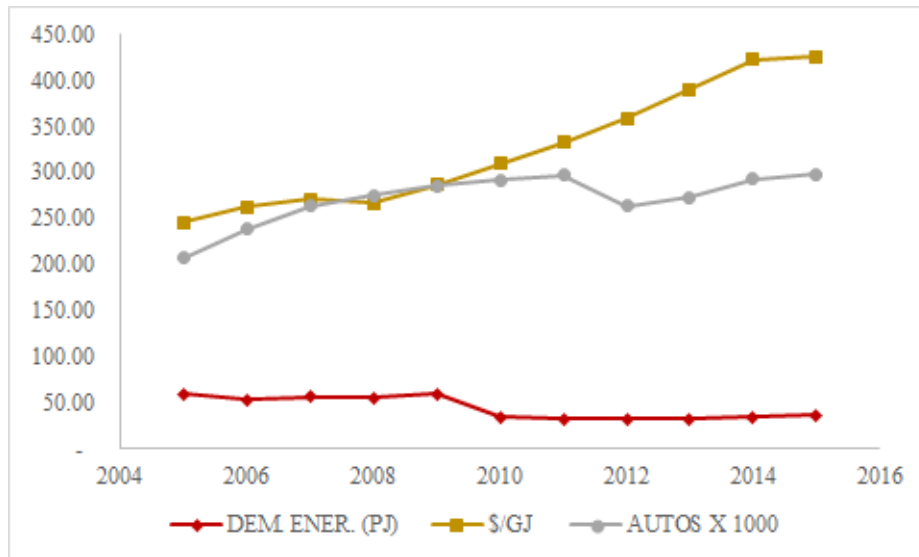


Imagen 46. Variación del incremento de la demanda de energía, el precio de la energía y el incremento del parque vehicular en Hermosillo, Son., 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

Observando la imagen 46, nos es posible argumentar que la variable independiente tanto en el rendimiento energético como en el económico, fue el precio de la energía mientras que las variables dependientes resultaron ser, el crecimiento del parque vehicular y el incremento de la demanda de energía.

Por otro lado, el incremento en el precio de la energía, no fue del todo negativo, ya que, de acuerdo con los resultados obtenidos, referentes a las emisiones de carbono, fue teóricamente positivo. Dicha argumentación se muestra a continuación.

### 7.4.3. Índice de Rendimiento Ecológico.

El índice de rendimiento ecológico, generado a partir del número de habitantes a los que se les transfirieron emisiones de carbono, derivadas de las actividades del SPMU, tuvo una variación que se considera positiva, debido a que el número de personas, llamémosle impactadas, se redujo en la década del 2005-2015 (véase imagen 47).

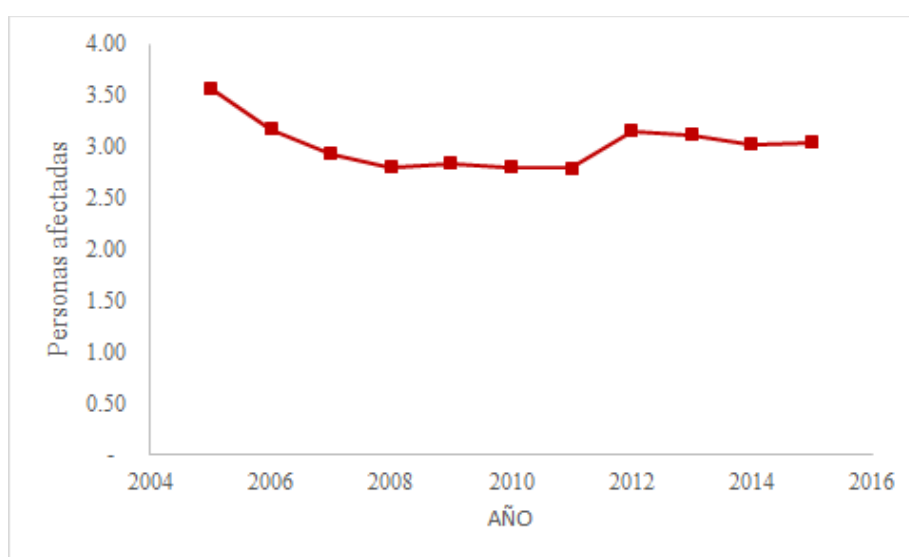


Imagen 47. Variación del índice de rendimiento ecológico del SPMU en Hermosillo, Son., 2005-2015. Elaboración propia.

En este sentido es posible afirmar que, el incremento en el precio de la energía tuvo un efecto positivo en la reducción de las emisiones de carbono a la atmósfera. Tal fenómeno no implicó que el funcionamiento energético o ecológico del SPMU haya mejorado, sino que la contracción en el gasto se manifestó en un efecto positivo a nivel ecológico.

Empero, a pesar de que el índice de rendimiento ecológico tuvo una mejora, esta no tuvo gran impacto en el índice de rendimiento ambiental (IRA). A continuación, se muestra el análisis de resultados.

#### 7.4.4. IRA (Índice de Rendimiento Ambiental)

Como se ha venido mencionando, el IRA, resulta de la ponderación de tres índices, que evalúan la dimensión económica, energética y ecológica, de un sistema, en este caso el SPMU de Hermosillo, Son., Dicho índice mantuvo una tendencia negativa, debido a que tanto el índice de rendimiento económico como energético mantuvieron una tendencia negativa, a pesar de la variación positiva del índice de rendimiento ecológico, ya que si bien el índice de rendimiento ecológico presento una mejora, esta no se dio por factores endógenos del mismo, sino por factores externos como la disminución en el gasto y el incremento de los precios (véase imagen 48).

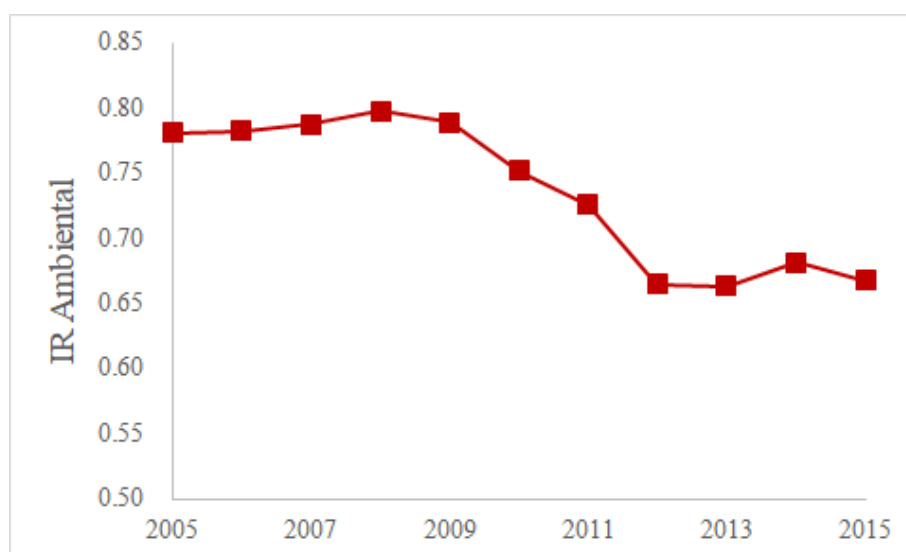


Imagen 48. Variación del IRA del SPMU en Hermosillo, Son., 2005-2015.  
Elaboración propia.

## 8. CONCLUSIONES

La primera conclusión alude a la hipótesis de esta investigación: se comprueba el modelo teórico referente a la relación de intercambio de energía (imagen 22, capítulo 2): *las variables de los subsistemas en el sistema social y por ende, las variables de los sistemas adyacentes y los subsistemas que contienen, tienen influencia en el medio ambiente y en consecuencia en los sistemas adyacentes, mientras que la magnitud de la influencia dependerá de su posición en el sistema y el tamaño del sistema.* Por una parte, fue posible relacionar teóricamente los conceptos cambio energético del sistema y valoración de la energía disipada, a través de las emisiones de GEI (externalidad negativa del sistema económico), y fue tal relación la que permitió determinar el rendimiento ambiental. Por la otra, se mostró que variables asociadas a cada concepto teórico y ligadas a diferentes subsistemas del sistema social, influyen en todo este, pero también en otros subsistemas ajenos al de origen. Ello implica que las variables de subsistemas que conforman un sistema mayor (el social en concreto), influyen en mayor o menor medida y dependiendo de su posición en el sistema, en los sistemas adyacentes, por tanto, en el medio ambiente.

La acotación conceptual de los términos ecosistema, medio ambiente, medio ambiente natural y medio ambiente humano (MAH) propuesta en este trabajo resulta conveniente de utilizar en estudios que adoptan enfoques sistémicos para analizar las expresiones locales que asume la problemática ambiental contemporánea. El concepto central ha sido el de medio ambiente, entendido como la relación espacio-temporal entre el medio (llámese universo o biósfera) y los sistemas en él contenido; todos los demás términos se determinan conceptualmente del MAH, según la intención analítica y el objeto de investigación.

En tal apuesta conceptual se confirma la conveniencia de adoptar una perspectiva de análisis sistémica para estudiar la problemática ambiental humana (PAH), tras reconocer que ésta ha rebasado la óptica analítica de la ciencia económica estándar y que el pensamiento económico tiende hacia nuevos enfoques a través de la constante búsqueda de la internalización de las variables y fenómenos que dicha ciencia había dejado fuera. En esta línea de propuestas alternativas al análisis económico convencional, destaca la economía ecológica por incorporar y apropiarse de conceptos e instrumentos de otras disciplinas científicas, principalmente de la ecología y la termodinámica; así como la conveniencia del enfoque eointegrador porque, al sustentarse en el



vínculo existente entre el MAH y la PAH, permitió visibilizar sus interacciones y, en el caso de interés, los cambios que presenta el ambiente por la acción del entorno social.

Finalmente, se confirma la importancia de estudiar esos flujos e interacciones sistémicas entre MAH y PAH, a través de esquemas que visibilicen los procesos de conservación-amortización involucrados en esos intercambios energéticos. Con esta lente se puede aproximar una valoración a los servicios y bienes proporcionados por el medio ambiente natural (base del funcionamiento del sistema social tal y como lo conocemos hasta hoy) y derivar algunas acciones orientadas específicamente a mitigar la PAH. Hasta hoy, la óptica de la economía ortodoxa que predomina en el análisis de la PAH, sin diferenciar, abstraer o rescatar las partes del entorno social o sus componentes (que se traslapan entre entornos o sistemas), ha impedido internalizar esos factores externos desestimados por la economía convencional o estándar. Hasta hoy, el carecer de una valoración adecuada de los bienes y servicios que proporciona el medio ambiente natural ha derivado en estudios que obvian o minimizan la magnitud y alcance de la PAH, lo cual conlleva el riesgo de que la depredación y la degradación del ecosistema se eleven e incluso deriven en un incremento de la entropía que limite el desarrollo económico y social.

### 8.1. Conclusiones Específicas.

Probada la hipótesis, se confirma el logro del objetivo general de investigación. Esto porque fue posible desarrollar una herramienta metodológica que agrupa variables de diferentes subsistemas del sistema social y permitió analizar la influencia de cada una de ellas en el SPMU, mediante el análisis del rendimiento ambiental, determinado a su vez por el Índice de Rendimiento Ambiental. La herramienta permitió homogeneizar en un lenguaje común las diferencias intrínsecas de variables de distintos subsistemas o sistemas de origen, facilitando el análisis simultáneo de cada una de ellas a través de su convergencia en el IRA del SPMU.

Por otro lado, se mostró la relevancia de cada uno de los objetivos específicos en el cumplimiento del objetivo general. Primero, para comprobar la aplicabilidad de la herramienta metodológica en el SPMU, se debieron de homologar todas las variables de los subsistemas situación por la que el balance de energía resulto ser una herramienta adecuada. Además, a partir de los resultados del

balance de energía fue posible asignar un costo a las externalidades, es decir pérdidas de energía o emisiones de GEI lo que permitió interiorizarlas en la herramienta metodológica y por ende en el balance. Finalmente, los resultados del objetivo tres, concerniente a la medición del rendimiento ambiental, permitieron verificar el cumplimiento tanto del objetivo general como la validez de la hipótesis de investigación.

Se concluye entonces que los estudios orientados por enfoques teórico-metodológicos de carácter sistémico, brindan la capacidad de analizar de manera simultánea los diversos sistemas que conviven en un medio: a la vez que integran la información en esquemas metodológicos que simplifican el análisis, facilitan evaluar las interacciones de los sistemas, sus componentes y principales determinantes.

## 8.2. Conclusiones del Estudio de Caso

El estudio del caso del SPMU de Hermosillo, Sonora, México, confirmó que el Rendimiento Ambiental del sistema en cuestión, está fuertemente influenciado por el cambio de energía en el mismo y en los sistemas con los que convive en el medio.

Aunado a esto los resultados parecen indicar que el análisis convencional respecto al rendimiento ambiental, en el caso del SPMU, que asocian variables como uso de la energía y emisiones de GEI, han resultado ineficientes para ofrecer una descripción profunda de la problemática, ya que como se mencionó con anterioridad, se basan en el análisis *in situ* del sistema y no de las relaciones de intercambio de energía entre el sistema y los sistemas adyacentes.

Dichos resultados logran evidenciar la necesidad de involucrar en el análisis del SPMU, variables endógenas del sistema a la vez que variables exógenas vinculadas al contexto regional, e incluso global, más aun cuando dichos fenómenos modifican el poder adquisitivo de la población, es decir de los usuarios en el sistema; variables tales como el ingreso medio, la demanda de energía, el valor de la energía, el tamaño del parque vehicular, la variación de precios y las tendencias de crecimiento de todas estas variables.

Se confirmó por tanto la conveniencia de direccionar los estudios del rendimiento ambiental, en el caso del SPMU, empleando las bases teóricas, conceptuales y metodológicas propuestas desde la

economía ecológica y el enfoque eointegrador. Particularmente, la inclusión del índice energético, el económico y el ecológico al análisis del rendimiento ambiental, permitió pasar de una interpretación únicamente de la condición ambiental del sistema privado de movilidad urbana de Hermosillo, Sonora, a un análisis más acorde con los propósitos de gestión que justifican precisamente, los estudios de evaluación del rendimiento ambiental.

Si bien, en el presente estudio se evaluó el rendimiento ambiental del SPMU en un contexto regional, se concluye que el comportamiento del índice depende en gran medida de variables macroeconómicas, entre las que destacan la variación de los costos energéticos y que va en tenor de la política energética del País.

### 8.3. Limitaciones del Estudio y Recomendaciones

Analizar el cambio energético en el medio ambiente, e incluso en el sistema social, resulta ser una actividad que se encuentra muy por encima de la necesidad de probar una herramienta metodológica, debido a la gran cantidad de sistemas en el medio y subsistemas en el sistema social. Esta herramienta metodológica si bien puede ser de aplicación general, es apenas una primera aproximación a este tipo de estudios, que se recomienda desarrollar escalar y extrapolar a sistemas más amplios.

En este sentido, el desarrollo de una herramienta metodológica que evalúe el rendimiento ambiental, con base en el desarrollo conceptual de MAH planteado en esta investigación, permite integrar una gran cantidad de subsistemas del sistema social e incluso otros sistemas de la biósfera, hecho que dependerá de la disponibilidad de información de los subsistemas que conforman tanto el sistema social como los demás sistemas de la biósfera.

En este sentido, la principal limitante para la especificidad de los datos obtenidos, referentes al IRA, fue la carencia de información desagregada de la actividad del SPMU en Hermosillo, Sonora. Por ello, se reconoce la importancia de contar con información concisa, veraz y precisa respecto a la actividad del parque vehicular en el municipio. Si bien fue posible evaluar el rendimiento ambiental, se reconoce que hubo vacíos de información que debieron ser subsanados con supuestos metodológicos, extrapolación de datos supramunicipales y recopilación de datos externos

aplicables al municipio. En ese sentido, se reconoce la necesidad de analizar con mayor detalle las posibilidades técnicas de replicabilidad del modelo, en diferentes escalas y en otras regiones.

Respecto al objeto de estudio, centrado en el SPMU, si bien se consideró conveniente analizarlo por las implicaciones que tienen fenómenos como la urbanización y el ordenamiento territorial en la PAH, se reconoce que hace falta incorporar en este tipo de análisis otros subsistemas del sistema de movilidad, por ejemplo, el sistema colectivo de transporte, la planeación y la infraestructura vial, entre otros, considerar también cómo se conforma e interacciona cada uno, las interacciones sistémicas de cada uno de ellos con otros subsistemas del sistema económico, en una región territorial específica. En esto último es necesario integrar en este tipo de estudios las implicaciones teóricas de la dimensión territorial, en el caso del SPMU, analizarlo desde una visión regional territorial endógena.

Finalmente, en materia de gestión, normatividad y lineamientos de política económica, el presente estudio reconoce que las acciones enfocadas en incidir en la mejora gradual del rendimiento ambiental del SPMU no deberán ir en detrimento ni desestimar variables exógenas al sistema en sí, particularmente variables económicas del contexto.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, A. G. (1999). Los asentamientos humanos y el cambio climático en México. Un escenario futuro de vulnerabilidad regional. *México: Una Visión Hacia El Siglo XXI: El Cambio Climático* En México, 171–194. [http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/libros/cambio\\_climatico/asentamientos.pdf](http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/libros/cambio_climatico/asentamientos.pdf)
- Aguilera K., F., & Alcántara, V. (1994a). Producto neto marginal social y producto neto marginal privado: definiciones. In *De la Economía Ambiental a la Economía Ecológica* (1ra Edición, pp. 22–26). Centro de Investigación para la Paz.
- Aguilera K., F., & Alcántara, V. (1994b). R.H. Coase: El problema del coste social. In CIP-Ecosocial (Ed.), *De la Economía Ambiental a la Economía Ecológica* (1ra Edición, pp. 41–76). Centro de Investigación para la Paz. <https://doi.org/84-7426-231-3>
- Ahrne, G., Aspers, P., & Brunsson, N. (2015). The Organization of Markets. *Organization Studies*, 36(1), 7–27. <https://doi.org/10.1177/0170840614544557>
- Andrade, G. (2006). APLICACIÓN DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS E INTERVENCIÓN ESTATAL EN EL PROBLEMA DE LAS EXTERNALIDADES. *PERSPECTIVAS*, 9, 101–126.
- Augusto Horta, L. (2010). *Indicadores de políticas públicas en materia de eficiencia energética en América Latina y el Caribe* (p. 131). CEPAL, German Agency for Technical Cooperation. <https://doi.org/LC/W.322>
- Benavides, R. (2011). Calidad de vida , calidad ambiental y sustentabilidad como conceptos urbanos complementarios. *Fermentum. Revista Venezolana de Sociología y Antropología*, 21(61), 176–207.
- Boettke, P. J., & Heilbroner, R. L. (2017). *Encyclopædia Britannica*. Economic System; Encyclopædia Britannica, inc. <https://www.britannica.com/topic/economic-system>
- Cartwright, N. (1997). Where Do Laws of Nature Come From? *Dialectica*, 51(1), 65-78
- Cartwright, N. (2002). In Favor of Laws That Are Not Ceteris Paribus after All. *Erkenntnis* (1975-), 57(3), 425-439.
- Castilla, C. (1993). Economía ecológica: estudio de valoración de los ecosistemas forestales de Canarias. Universidad de la Laguna.
- COESPO, 2015-2021. Indicadores Sociodemográficas. Proyecciones de población. Gobierno del Estado de Sonora, Secretaría de Gobierno, Consejo Estatal de Población. 2015-2021. <http://www.coespo.sonora.gob.mx/indicadores/sociodemograficos/proyecciones-de-poblacion.html>
- Chang, M. Y. (2005). La economía ambiental. In M. A. Porrúa (Ed.), *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable* (1ra Edición, pp. 175–188). Universidad Autónoma de Zacatecas. [http://estudiosdeldesarrollo.net/coleccion\\_america\\_latina/sustentabilidad/Sustentabilidad9.pdf](http://estudiosdeldesarrollo.net/coleccion_america_latina/sustentabilidad/Sustentabilidad9.pdf)
- CNBV. (2015). *Encuesta Nacional de Inclusión Financiera*.

<https://www.cnbv.gob.mx/Inclusión/Documents/Encuesta Nacional de IF/ENIF 2015.pdf>

- CNBV. (2019). Comisión Nacional Bancaria y de Valores. In *Información Estadística: Crédito al consumo (Crédito automotriz-Consumo no revolvente. Créditos automotrices: Número de créditos por intervalo de tasa de interés)*. <http://portafoliodeinformacion.cnbv.gob.mx/bm1/Paginas/creditosauto.aspx>
- Davies, C., Harnisch, J., Lucon, O., Mckibbon, R. S., Saile, S. B., Wagner, F., & Walsh, M. P. (2006). Capítulo 3: Combustión Móvil. In S. Eggleston, L. Buendía, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanbe (Eds.), *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 2: Energía* (pp. 1–78). Intergovernmental Panel for Climate Change. [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2\\_Volume2/V2\\_0\\_Cover.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_0_Cover.pdf)
- Delgado, W. G. (2015). Gestión y valor económico del recurso hídrico. *Revista Finanzas y Política Económica*, 7(2), 279–298. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14718/revfinanzpolitecon.2015.7.2.4>
- Dick, H., Gasca, J., González, U., & Guzmán, F. (2004). Opciones para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero del sector transporte. In Instituto Nacional de Ecología; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Ed.), *Cambio Climático: Una visión desde México* (Primera Ed). <http://www.iies.unam.mx/wp-content/uploads/2016/03/Victor-Jaramillo-Cambio-Climatico-Una-Vision-desde-Mexico-.pdf>
- Eco, U., & Lozano, M. H. (2008). Decir casi lo mismo: [experiencias de traducción]. Barcelona: Lumen.
- E.Lates, A. (1995). Urbanización, Crecimiento Urbano y Migraciones en América Latina. *Notas de Población*, 62, 211–260. <http://200.9.3.98/handle/11362/38594>
- Escobar, L. (2006). Indicadores sintéticos de calidad ambiental: Un modelo general para grandes zonas urbanas. *Eure*, 32(96), 73–98. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612006000200005>
- FIMEVIC. (n.d.). *Fideicomiso para el Mejoramiento de las Vías de Comunicación del Distrito Federal*. Diagnóstico de La Movilidad de Las Personas En La Ciudad de México. Retrieved May 9, 2018, from <http://www.fimevic.df.gob.mx/problemas/1diagnostico.htm>
- Foladori, G. (2001). *Controversias sobre sustentabilidad* (Primera ed). Universidad Autónoma de Zacatecas. <https://diversidadlocal.files.wordpress.com/2012/09/foladori-guillermo-controversias-sobre-sustentabilidad-la-coevolucion-sociedad-naturaleza.pdf>
- Gallopín, G. C. (1980). El medio ambiente humano. *Estilos de Desarrollo y Medio Ambiente En América Latina*, June, 205–235.
- García, G. J., & Chávez, N. E. (2017). Valoración económica para la protección socioambiental de la vaquita marina, una especie endémica. *Región Y Sociedad*, 70, 5–29.
- García S., G., & Flores A., Y. V. (2018). Impacto del Impuesto al Precio de las Gasolinas sobre la Distribución del Presupuesto de Consumo en las Familias de México. *Multidisciplinary Business Review*, 11, 27–40.
- García Ubaque, C. A., García Ubaque, J. C., & Vaca Bohórquez, M. L. (2015). Valoración económica en salud y medio ambiente del control de contaminantes orgánicos persistentes en Colombia. *Rev. Salud Pública*, 17(6), 951–960.

<https://doi.org/10.15446/rsap.v17n6.51717>

- Georgescu-Roegen, Nicholas (1971). *The entropy law and the economic process.* Harvard University Press. ISBN 0674257804. OCLC 155079
- Giménez, , (2015). *El ambiente en la evolución biológica: el concepto en perspectiva histórica.* Facultad de Ciencias exactas, Física, y Naturales-Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Vol. 2, No, 2. Pp.95-97.
- Giddens, Anthony, ed. (2001) *The global third way debate.* Polity Press, Cambridge, UK. ISBN 9780745627427
- Gobierno de México. (2019). *Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales\_ Indicadores de Crecimiento Verde.* Innovación, Oportunidades y Políticas (4.2.1. Precio de Los Combustibles.
- Gobierno del Estado de Baja California. (2015). *Gobierno del Estado de Baja California.* Mexicali: Rutas de Transporte Público. [http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro\\_estado/municipios/mexicali/rutas.jsp](http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/municipios/mexicali/rutas.jsp)
- Gobierno del Estado de Sinaloa. (2016). *Portal de Obligaciones de Transparencia.* Rutas de Camiones Urbanos de Culiacán, Sinaloa. [http://www.transparenciasinaloa.gob.mx/index.php?option=com\\_flexicontent&view=items&id=2134:asyt-direccion-vialidad-y-transportes&Itemid=3050](http://www.transparenciasinaloa.gob.mx/index.php?option=com_flexicontent&view=items&id=2134:asyt-direccion-vialidad-y-transportes&Itemid=3050)
- Gómez, D. R., Watterson, J. D., Americano, B. B., Ha, C., Marland, G., Matsika, E., Namayanga, L. N., Osman-Elasha, B., Kalenga Saka, J. D., & Treanton, K. (2006). Capítulo 2: Combustión Estacionaria. In *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Vol. 2: Energía* (pp. 1–47). [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2\\_Volume2/V2\\_2\\_Ch2\\_Stationary\\_Combustion.pdf%5Chttp://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol2.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf%5Chttp://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol2.html)
- Gómez, L.J., 2002. *Introducción a la ecología global.* Universidad Nacional de Colombia: Medellín, 166 P.
- Gutman, Pablo (1986) "Economía y medio ambiente" en E. Leff (comp.). *Los problemas del conocimiento y la perspectiva ambiental de desarrollo.* México, Siglo XXI, pp. 173-202.
- Harris, J. M., & Harris, J. M. (2000). *Basic Principles of Sustainable Development. Life Support Systems, June, 26.*
- Herman, Daly (1991) *Steady State Economics,* Washington, D.C., Island, Press.
- Hernández, P. (2014). *Estimación de Indicadores Económicos y Ambientales del Sector Transporte Privado de una Localidad Urbana.* Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.
- Huesca R., L., & López M., A. (2011). Impuestos ambientales al Carbono en México y su progresividad : una revisión analítica Carbon Tax in Mexico and Progressivity : an analytical review. *Economía Informa*, 398(2010), 23–39. <https://doi.org/10.1016/j.ecin.2016.04.003>
- Izuzquiza, I., 2008. *La sociedad sin hombres. Niklas Luhmann o la teoría como escándalo.* Anthropos: Barcelona, 350 p.
- IMPLAN. (2018). *Programa Municipal de Ordenamiento Territorial de Hermosillo 2018.*

[http://www.implanhermosillo.gob.mx/wp-content/uploads/2018/05/PMOT\\_2018.pdf](http://www.implanhermosillo.gob.mx/wp-content/uploads/2018/05/PMOT_2018.pdf)

- Incropera, F. P., Dewitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (1993). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (6th ed., Issue 1986). John Wiley & Sons, Inc. All Rights Reserved. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2004.30>
- INECC. (2014). *Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles que se consumen en México*. (Vol. 3). <http://www.inecc.gob.mx>
- INEGI. (2016a). *Estadísticas a propósito del día mundial sin auto (22 de Septiembre)*. *Datos Nacionales* (Issue 2010, pp. 1–16). Instituto Nacional de Geografía y Estadística. [www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/Co?](http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/Co?)
- INEGI. (2016b). *Instituto Nacional de Geografía y Estadística*. Sistema Estatal y Municipal de Base de Datos. <http://sc.inegi.org.mx/cobdem/resultados.jsp?w=43&Backidhecho=531&Backconstem=530&constembd=168&tm=%27Backidhecho:3,Backconstem:3,constembd:3%27>
- INEGI. (2017a). *Consulta en línea de los precios promedio del INPC Publicados en el Diario Oficial de la Federación Mensualmente*. Consulta de Precios Promedio. <http://www.beta.inegi.org.mx/app/preciospromedio/>
- INEGI. (2017b). *SIMBAD*. Sistema Estatal y Municipal de Base de Datos. <http://sc.inegi.org.mx/cobdem/>
- INEGI. (2019). *Registro Administrativo de la Industria Automotriz de Vehículos Ligeros: Venta al público de vehículos ligeros por marca, modelo, segmento y país origen*. Fecha de publicación: 06/06/2019.
- IPCC. (2014a). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (O. Edenhofer, Y. Pichs-Madruga, E. Sokona, S. Farahani, K. Kadner, A. Seyboth, I. Adler, S. Baum, P. Brunner, B. Eickemeier, J. Kriemann, S. Savolainen, T. Schömer, C. von Stechow, T. Zwickel, & J. C. Minxv (eds.); Issue 7). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.05.001>
- IPCC. (2014b). *Fifth Assessment Report (AR5)* (1a ed.). Intergovernmental panel on Climate Change. 2015.
- Jasch, C. (2000). Environmental performance evaluation and indicators. *Journal of Cleaner Production*, 8(1), 79–88. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(99\)00235-8](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(99)00235-8)
- Kennedy, C. (2009). *Carbon Dioxide: Earth's Hottest Topic is Just Warming Up*. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/carbon-dioxide-earths-hottest-topic-just-warming>
- Maturana y Luzoro, 1996. Maturana, H. y Luzoro, J., 1996. Herencia y medio ambiente. En: Luzoro, J. (comp.). *Desde la Biología a la Psicología*. Universitaria: Santiago de Chile
- Maturana y Varela, 1990. Maturana, H. y Varela, F., 1990. El árbol del conocimiento. Las bases biológicas del conocimiento humano. Debate: Madrid, 219 P.
- Manufacturing Chemists' Association (U.S.). (1955). *Selected values of properties of chemical compounds* (Dept. of Chemistry (ed.)). Carnegie Institute of Technology.



- Martínez-Alier, J. (2004). Los conflictos ecológico- distributivos y los indicadores de sustentabilidad. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica (REVIBEC)*, 1, 21–30. <https://doi.org/10.4000/polis.5359>
- Martínez, H. (2010). Estudio de emisiones y características vehiculares en ciudades mexicanas: Fase IV [medición de emisiones en cinco ciudades y análisis de resultados globales]. In CTS. <https://www.ctsmexico.org>
- Medina, S. (2012). *La Importancia De Reduccion Del Uso Del Automovil En Mexico*. (I. de P. para el T. y D. México, Ed.) (Primera Ed). Instituto de Políticas para el Transporte y Desarrollo México.
- Mirón Perez, M. D. (2004). Oikos y oikonomia: El análisis de las unidades domésticas de producción y reproducción en el estudio de la Economía antigua. *Gerión*, 22(1), 61–80.
- Moran, M. J., & Shapiro, H. N. (2004). *Fundamentos de Termodinámica [Versión en Español]* (E. R. S.A. (ed.); 2da Edició).
- Muñoz Pradas, F. (1995) Explosión demográfica y crisis ecológica, Madrid, Arbor CLI, 594, pp. 24-40.
- Naredo, J. M. (2002). Economía y sostenibilidad: la economía ecológica en perspectiva. *Polis [En Línea]*, 2, 1–27. <http://polis.revues.org/7917>
- Naredo, J. M. (2003). Rasgos Distintivos de los Nuevos Enfoques de lo Económico y su Relación con los Antiguos. In S. A. SIGLO XXI DE ESPAÑA EDITORES (Ed.), *Economía en Evolución* (3ra Edició, pp. 503–549).
- Orellana, A. C. (2007). Indicadores territoriales de sostenibilidad : obstáculos , nuevas propuestas. *Ecocri*, 1974, 449–450.
- Oronoz, B., & Piquero, E. (2019). *Nota Técnica: Impuesto al carbono en México*. [http://www.mexico2.com.mx/uploads/mexico/file/Impuesto al carbono en México\\_mayo.pdf](http://www.mexico2.com.mx/uploads/mexico/file/Impuesto%20al%20carbono%20en%20M%C3%A9xico_mayo.pdf)
- PNUMA. (1992). Convenio sobre la Diversidad Biológica. In *Convenio sobre la Diversidad Biológica* (pp. 3–4). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
- Scheibe, R. R. (2009). *Motor Vehicle Fire Research Institute*. Motor Vehicle Fire Investigation Computer-Based Training. <https://depts.washington.edu/vehfire/welcome.html>
- Schuschny, A., & Soto, H. (2009). *Guía metodológica - Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible - Documento de proyecto*. Cepal. <https://doi.org/LC/W255>
- SENER. (2015). *Balance Nacional de Energía* (Primera ed).
- SENER. (2017). *Sistema de Información Energética [SIE]*. Volumen de Ventas de Petrolíferos Por Entidad Federativa. <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=PMXE2C03>
- SENER. (2018). *Balance Nacional de Energía 2017*. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/414843/Balance\\_Nacional\\_de\\_Energ\\_a\\_2017.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/414843/Balance_Nacional_de_Energ_a_2017.pdf)
- SENER. (2019a). *Consumo por Tipos de Combustibles para la Generación de Electricidad*. Datos Abiertos. <https://doi.org/66c34537-cb3c-488f-a0d0-ee136b5f5845>

- SENER. (2019b). *Sistema de Información Energética*. Precio Al Público Ponderado de Productos Petrolíferos Seleccionados Vigente a Partir de 1995. <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=PMXE2C05>
- SENER. (2019c). *Sistema de Información Energética*. Precios Medios de Energía Eléctrica Por Tarifa. <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=IIIBC02>
- Soria-Lara, J. A., & Valenzuela, L. M. (2014). Diseño de un sistema de evaluación del rendimiento ambiental en corredores de movilidad urbana [en línea]. *ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno*, 9(25), 43–68. <https://doi.org/10.5821/ace.9.25.3620>.
- Steffen, W., & Hughes, L. (2013). *THE CRITICAL DECADE 2013: Climate change science , risks and responses* (Issue June). Climate Commission Secretariat [Department of Industry, Innovation, Climate Change, Science, Research and Tertiary Education].
- Sutton, D. (2006). Fundamentos de Ecología. In Editorial LIMUSA S.A. de C.V. (Ed.), *Fundamentos de Ecología* (1ra Edició).
- The World Bank. (2018). The World Bank: Data. In *Indicators by Country*. World Bank Group.
- Unikel, L. (2016). EL PROCESO DE URBANIZACIÓN EN MEXICO: Dsistribución y crecimiento de la población urbana. *Demografía y Economía*, 2(2), 139–182. <http://www.jstor.org/stable/40601775>
- Valdivia-Alcala, R., Abelino-Torres, G., Lopez-Santiago, M. A., & Zavala-Pineda, M. J. (2012). Valoracion economica del reciclaje de desechos urbanos. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 18(3), 435–447. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.07.044>

## **10. ANEXO: ANEXO METODOLÓGICO –MICRO-INDICADORES**

### **10.1. Micro-Indicadores Energéticos**

El uso de la energía en la sociedad se observa de dos formas, de manera directa, como la demanda de energía eléctrica y combustibles, y de forma indirecta en forma de bienes y servicios que dependen, a final de cuentas, de los mismos insumos energéticos para que estos sean producidos (Augusto Horta, 2010). Es por tal motivo, que los indicadores energéticos deben de contemplar como lo menciona Martínez-Alier (2004), el uso de la energía endosomática y exosomática con la finalidad de mostrar un panorama amplio sobre el rendimiento energético de un sistema.

A continuación, se muestra el procedimiento de construcción de una serie de indicadores micro-indicadores, denominados así porque describen sólo partes aisladas del sistema y no el sistema en general, utilizados en el análisis de resultados. Derivan de condiciones socioeconómicas específicas de una región determinada, por tanto actúan como supuestos en la construcción del indicador general.

#### **10.1.1. Energía Consumida por Persona Transportada.**

En estudio de Martínez (2010), referente a las características del transporte en México, se afirma que la media de movilidad en el noroeste de México es de 52 kilómetros por vehículo recorridos (KVR) al día (KVR/Día), ello implica que al año un vehículo recorre una distancia de alrededor de 18,980 kilómetros (Martínez, 2010). Por otro lado, también indicadores oficiales –descritos en primer capítulo-, dan cuenta que las unidades de transporte privado transportan una persona en promedio, aun y cuando tal unidad sea de mayor capacidad.

Dicho esto, con los datos del KVR y el promedio de ocupantes por vehículo, es posible estimar indicadores energéticos, referentes a la actividad de transporte. Es decir, la información anterior se tomará en cuenta para definir la cantidad de energía total que requiere una persona para trasladarse

en un periodo de tiempo determinado (véase ecuación 18), al igual que la cantidad de energía que se disipa derivada de dicha actividad (véase ecuación 19).

$$Q_b^{1\text{ persona}} = \frac{\sum_b Q_b^1}{\text{No. autos}_b}$$

Ecuación 18. Ecuación para estimar la cantidad de energía que requiere una persona para transportarse en un año.  
Fuente: Elaboración propia.

$$Q_b^{2\text{ persona}} = \frac{\sum_b Q^{CO_2}}{\text{No. autos}_b}$$

Ecuación 19. Ecuación para estimar la cantidad de energía que se disipa en forma de CO2 por persona para transportarse en un año.  
Fuente: Elaboración propia.

Donde:

- $Q_b^{1\text{ persona}}$  = Energía que requiere una persona para trasladarse en un periodo determinado (MJ/Persona)
- $Q_b^{2\text{ persona}}$  = Energía que se disipa al trasladar una persona en un periodo determinado (MJ/Persona)
- $\sum_b Q_b^1$  = Sumatoria de la energía que se produjo para generar el dinero necesario para adquirir bienes de transporte ( $Q^{B. Transporte}$ ) bienes energéticos ( $Q^{B. Energéticos}$ ) y la energía contenida en la gasolina ( $Q^{Gasolinas}$ ) por tipo de combustible
- $\sum_b Q^{CO_2}$  = Sumatoria de la energía que se disipa en forma de dióxido de carbono (p. ej.  $Q^{CO_2\text{ gasolina}}$   $Q^{CO_2\text{ Energéticos}}$   $Q^{CO_2\text{ Transporte}}$ )
- No. autos<sub>b</sub> = Numero de automóviles registrados en el periodo de análisis
- B = Año

### 10.1.2. Energía por Distancia Recorrida.

Una vez hecho este cálculo, se procede a estimar la cantidad de energía empleada para recorrer una distancia determinada (véase ecuación 20) así como la cantidad de energía que se disipo al medio (véase ecuación 21).

$$Q_b^{1\ distancia} = \frac{\sum_b Q_b^1}{KVR/año * No. Autos_b}$$

Ecuación 20. Ecuación para determinar la cantidad de energía que se requiere para transportar a una persona en una distancia determinada.

Fuente: Elaboración propia

$$Q_b^{2\ distancia} = \frac{\sum_b Q_b^2}{KVR/año * No. Autos_b}$$

Ecuación 21. Ecuación para determinar la cantidad de energía que se disipa al transportar a una persona en una distancia determinada.

Fuente: Elaboración propia

Donde:

- $Q_b^{1\ distancia}$  = Energía que requiere una persona para trasladarse una distancia determinada en un periodo determinado (MJ/km)
- $Q_b^{2\ distancia}$  = Energía que se disipa por persona al trasladarse en una distancia determinada en un periodo determinado (MJ/km)
- $\sum_b Q_b^1$  = Sumatoria de la energía que se produjo para generar el dinero necesario para adquirir bienes de transporte ( $Q^{B. Transporte}$ ) bienes energéticos ( $Q^{B. Energéticos}$ ) y la energía contenida en la gasolina ( $Q^{Gasolinas}$ ) por tipo de combustible
- $\sum_b Q^{CO2}$  = Sumatoria de la energía que se disipa en forma de dióxido de carbono (p. ej.  $Q^{CO2\ gasolina}$   $Q^{CO2\ Energéticos}$   $Q^{CO2. Transporte}$ )
- No. Autos<sub>b</sub> = Numero de automóviles registrados en el periodo de análisis
- KVR/año = Kilómetros que recorre un automóvil en un año

b = Año

### 10.1.2. Energía Utilizada por kg de Carbono Emitidos a la Atmósfera.

Finalmente, se estima la cantidad de energía que se requiere para generar un kilogramo de carbono, en forma de dióxido de carbono que se emite a la atmósfera (véase ecuación 22).

$$Q_b^{1 \text{ kg Carbono}} = \frac{\sum_b Q_b^1}{\sum \text{Emisión}_b^{\text{gasolina-B.Energético-B.Transporte}}} / 44/12$$

Ecuación 22. Ecuación para determinar la cantidad de energía que se emplea para generar un kilogramo de carbono a la atmósfera  
Fuente: Elaboración propia

Donde:

- $Q_b^{1 \text{ Kg carbono}}$  = Energía que requiere una persona para generar un kg de carbono que se emite a la atmósfera (MJ/kg Carbono)
- $\sum_b Q_b^1$  = Sumatoria de la energía que se produjo para generar el dinero necesario para adquirir bienes de transporte ( $Q^{B. \text{Transporte}}$ ) bienes energéticos ( $Q^{B. \text{Energéticos}}$ ) y la energía contenida en la gasolina ( $Q^{\text{Gasolinas}}$ ) por tipo de combustible
- $\sum \text{Emisión}_b$  = Sumatoria de las emisiones de dióxido de carbono que se generan por el traslado de una persona (p. ej. Emisión<sub>gasolina</sub> Emisión<sub>B Energéticos</sub> Emisión<sub>B Transporte</sub>)
- 44/12 = Relación de carbono y oxígeno en la molécula de dióxido de carbono
- B = Año

## 10.2. Micro-Indicadores Económicos

Los indicadores económicos se basan, como su nombre lo indica, en el rendimiento económico. Estos indicadores muestran el valor monetario de la energía que se requiere para transportar a una persona una distancia determinada, así como el valor de la energía que se pierde por dicho proceso y el valor del carbono que se disipa a la atmósfera.

### 10.2.1. Gasto Anual en Transporte

El valor de gasto anual en el transporte, nos dice la cantidad de dinero que se invirtió en un año determinado para transportar a una persona (véase ecuación 23). Por otro lado, marca la pauta para conocer el valor de las pérdidas monetarias en forma de energía que se disipa como dióxido de carbono (véase ecuación 24).

$$P_b^{1\ person} = \frac{\sum_b P_b^1}{No. Autos_b}$$

Ecuación 23. Ecuación para determinar el valor de la inversión anual por persona para el transporte.  
Fuente: Elaboración propia.

$$P_b^{2\ person} = \frac{\sum_b P_b^{CO_2}}{No. Autos_b}$$

Ecuación 24. Ecuación para determinar las pérdidas económicas por la energía que se disipa en forma de dióxido de carbono.  
Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$P_b^{1\ person}$  = Inversión monetaria anual por persona para el transporte en un periodo

	determinado (\$/Persona)
$P_b^2 \text{ persona}$	= Pérdidas monetarias por la energía que se disipa al trasladar una persona en un periodo determinado (\$/Persona)
$\sum_b P_b^1$	= Sumatoria del precio estimado de la energía que se requiere para el traslado de una persona (p. ej. $V^{B. \text{ Energéticos}}$ $V^{B. \text{ Transporte}}$ )
$\sum_b P^{CO2}$	= Sumatoria del precio estimado de la energía que se disipa en forma de dióxido de carbono (p. ej. $P^{CO2 \text{ gasolina}}$ $P^{CO2 \text{ Energéticos}}$ $P^{CO2. \text{ Transporte}}$ )
No. Autos <sub>b</sub>	= Numero de automóviles registrados en el periodo de análisis
b	= Año

### 10.2.2. Gasto por Distancia Recorrida.

Este indicador muestra el valor total del gasto monetario para recorrer una distancia determinada (véase ecuación 25), así como la cantidad de dinero que se pierde por la misma distancia en un periodo determinado (véase ecuación 26).

$$P_b^1 \text{ distancia} = \frac{\sum_b P_b^1}{KVR/año * No. Autos_b}$$

Ecuación 25. Ecuación para determinar el gasto anual por distancia recorrida en un periodo determinado.  
Fuente: Elaboración propia.

$$P_b^2 \text{ distancia} = \frac{\sum_b P_b^{CO2}}{KVR/año * No. Autos_b}$$

Ecuación 26. Ecuación para determinar las pérdidas monetarias por distancia recorrida en un periodo determinado.  
Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$P_b^1 \text{ distancia}$	= Inversión monetaria que requiere una persona para trasladarse una distancia determinada en un periodo determinado (\$/km)
$P_b^2 \text{ distancia}$	= pérdidas monetarias de la energía se disipa por persona al trasladarse en una



	distancia determinada en un periodo determinado (\$/km)
$\sum_b P_b^1$	= Sumatoria de la inversión monetaria para adquirir para adquirir bienes de transporte ( $P^{B. Transporte}$ ) y bienes energéticos ( $P^{B. Energéticos}$ )
$\sum_b P^{CO2}$	= Sumatoria de las pérdidas monetarias de la energía que se disipa en forma de dióxido de carbono (p. ej. $P^{CO2gasolina}$ $P^{CO2Energéticos}$ $P^{CO2. Transporte}$ )
No. Autos <sub>b</sub>	= Numero de automóviles registrados en el periodo de análisis
KVR/año	= Kilómetros que recorre un automóvil en un año
b	= Año

### 10.2.3. Valor Monetario de las Emisiones de carbono.

Finalmente, es importante determinar el valor monetario de un kg de carbono que se emite a la atmósfera, ya que este varía en función de la de la cantidad de energía que se podía adquirir en el periodo con una unidad monetaria por su tipo y forma y el valor de los bienes energéticos y de transporte (véase ecuación 27).

$$P_b^{1 \text{ kg Carbono}} = \frac{\sum_b P_b^{CO_2}}{\sum \text{Emisión}_b^{\text{gasolina}-B.Energético-B.Transporte}} / 44/12$$

Ecuación 27. Ecuación para estimar el valor del carbono en un periodo determinado.  
Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$P_b^{1 \text{ Kg carbono}}$	= Precio estimado de un kilogramo de carbono emitido a la atmósfera (\$Carbono)
$\sum_b P_b^1$	= Sumatoria del precio/costo para adquirir bienes de transporte ( $Q^{B. Transporte}$ ) y bienes energéticos ( $Q^{B. Energéticos}$ ) por tipo de combustible
$\sum \text{Emisión}_b$	= Sumatoria de las emisiones de dióxido de carbono que se generan por el traslado de una persona (p. ej. $\text{Emisión}_{\text{gasolina}}$ $\text{Emisión}_B^{\text{Energéticos}}$ $\text{Emisión}_B^{\text{Transporte}}$ )
44/12	=Relación de carbono y oxígeno en la molécula de dióxido de carbono
B	= Año

### 10.3. Micro-Indicadores Ecológicos.

Los indicadores ecológicos brindan información acerca de cómo fluye el carbono dentro del sistema de transporte, se basa en el rendimiento ecológico y permite saber, de manera relativa, la cantidad de carbono que requiere un proceso, así como las pérdidas de éste, es decir la intensidad de uso del carbono.

#### 10.3.1. Volumen de Carbono por Persona.

La intensidad en el uso del carbono, es dada por la relación entre el número de personas transportadas por la cantidad de consumida (véase ecuación 28) así como la cantidad de carbono que se pierde en forma de dióxido de carbono por actividad realizada (véase ecuación 29).

$$CC_b^{1\ persona} = \frac{\sum_b CC_b^1}{No. Autos_b}$$

Ecuación 28. Ecuación para determinar la cantidad de carbono que se requiere para trasladar una persona una distancia determinada.  
Fuente: Elaboración propia.

$$CC_b^{2\ persona} = \frac{\sum_b CC_b^{CO_2}}{No. Autos_b}$$

Ecuación 29. Ecuación para determinar la cantidad de carbono que se pierde en forma de dióxido de carbono por el traslado de una persona en una distancia determinada.  
Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$CC_b^{1\text{ persona}}$	= Volumen de carbono que se requiere para trasladar una persona en una distancia determinada (Kg C/Persona)
$CC_b^{2\text{ persona}}$	= Volumen de carbono que se pierde en forma de dióxido de carbono al trasladar una persona en un periodo determinado (Kg C/Persona)
$\sum_b CC_b^1$	= Sumatoria del volumen de carbono que entra al sistema que se requiere para el traslado de una persona (p. ej. $CC^{B. Energéticos}$ $CC^{B. Transporte}$ $CC_{gasolinas}$ )
$\sum_b CC^{CO2}$	= Sumatoria del volumen de carbono que se pierde en forma de dióxido de carbono (p. ej. $CC^{CO2\text{ gasolina}}$ $CC^{CO2\text{ B. Energéticos}}$ $CC^{CO2\text{ B. Transporte}}$ )
No. autos <sub>b</sub>	= Numero de automóviles registrados en el periodo de análisis
b	= Año

Posterior al cálculo mostrado, se puede determinar la cantidad de carbono que se requiere para que una persona se traslade una distancia determinada (véase ecuación 30) y la cantidad de carbono que se disipa en forma de dióxido de carbono en una distancia determinada (véase ecuación 31).

$$CC_b^{1\text{ distancia}} = \frac{\sum_b CC_b^1}{KVR/año * No. Autos_b}$$

Ecuación 30. Ecuación para determinar el volumen de carbono que se requiere para una distancia determinada

Fuente: Elaboración propia.

$$CC_b^{2\text{ distancia}} = \frac{\sum_b CC_b^{CO_2}}{KVR/año * No. Autos_b}$$

Ecuación 31. Ecuación para determinar la el volumen de carbono que se pierde durante el recorrido de una distancia determinada.

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$CC_b^{1\text{ distancia}}$	= Volumen de carbono que se requiere para recorrer una distancia determinada (\$/km)
$CC_b^{2\text{ distancia}}$	Volumen de carbono que se disipa en forma de dióxido de carbono al recorrer una distancia determinada (\$/km)
$\sum_b CC_b^1$	= Sumatoria del volumen de carbono para adquirir bienes de transporte ( $CC^B$ )

$\sum_b CC^{CO2}$  = Sumatoria de las pérdidas de carbono que se disipa en forma de dióxido de carbono (p. ej.  $CC^{CO2gasolina}$   $CC^{CO2Energéticos}$   $CC^{CO2.Transporte}$ )  
 No. Autos<sub>b</sub> = Numero de automóviles registrados en el periodo de análisis  
 KVR/año = Kilómetros que recorre un automóvil en un año

Donde:

$CC_b^{1 distancia}$  = Volumen de carbono que se requiere para recorrer una distancia determinada (\$/km)  
 $CC_b^{2 distancia}$  = Volumen de carbono que se disipa en forma de dióxido de carbono al recorrer una distancia determinada (\$/km)  
 $\sum_b CC_b^1$  = Sumatoria del volumen de carbono para adquirir bienes de transporte ( $CC^{B.Transporte}$ ), bienes energéticos ( $CC^{B.Energéticos}$ ) y la cantidad de carbono en las gasolinas ( $CC^{gasolinas}$ )  
 $\sum_b CC^{CO2}$  = Sumatoria de las pérdidas de carbono que se disipa en forma de dióxido de carbono (p. ej.  $CC^{CO2gasolina}$   $CC^{CO2Energéticos}$   $CC^{CO2.Transporte}$ )  
 No. Autos<sub>b</sub> = Numero de automóviles registrados en el periodo de análisis  
 KVR/año = Kilómetros que recorre un automóvil en un año