



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN ECONOMÍA

**LA DEMANDA DE BIENES Y SERVICIOS DE LOS HOGARES
POR NIVEL DE INGRESO Y LAS EMISIONES DE CO₂: EL
CASO DE MÉXICO, 1990-2014.**

T E S I S

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTORA EN ECONOMÍA**

PRESENTA:

MÓNICA SANTILLÁN VERA

TUTOR PRINCIPAL:

DR. ÁNGEL DE LA VEGA NAVARRO

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DE LA FACULTAD DE ECONOMÍA, UNAM**

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:

DRA. ALICIA PUYANA MUTIS (FLACSO, MÉXICO)

DR. JORGE ISLAS SAMPERIO (IER, UNAM)

DR. JOSÉ LUIS LEZAMA DE LA TORRE (COLMEX)

DR. FERNANDO CORTÉS CÁCERES (FLACSO, MÉXICO)

CIUDAD UNIVERSITARIA, Cd. Mx., ENERO 2019.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

¡A la vida!

A mis padres, José Luis y Ma. Juana, y a mis hermanos, Maricruz y José Luis, por su amor y apoyo incondicional, siempre.

A mis sobrinas, Zoe y Dana, por su cariño y locuras que alegran mi camino.

A toda mi familia extendida, especialmente a mis primas, a mis amigos, a mis compañeros del seminario y a todas las personas que han estado cerca de mí, que desde distintos lugares me han animado a avanzar en este camino que elegí.

A mi Comité Tutor, especialmente al Dr. Angel de la Vega y a la Dra. Alicia Puyana, por sus atinados consejos y enseñanzas, no solo para la elaboración de esta tesis, sino para la vida misma; al Dr. Jorge Islas, al Dr. Fernando Cortés y al Dr. José Luis Lezama por su interés y retroalimentación en el trabajo que aquí se presenta.

A la UNAM por darme la oportunidad de entrar al ámbito de la investigación, desde el cual soñamos otros mundos posibles.

Al CONACYT por el financiamiento que me permitió dedicarme exclusivamente a la elaboración de esta tesis.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	1
Capítulo 1: El estudio del cambio climático en la economía.....	3
Capítulo 2: Las estrategias de mitigación en México y la trayectoria de las emisiones de CO ₂ por consumo de combustibles fósiles	6
Capítulo 3: La demanda de bienes y servicios de los hogares y las emisiones de CO ₂ en México entre 1990 y 2014	8
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1. El cambio climático, la energía y los combustibles fósiles	11
a) Los combustibles fósiles desde la oferta energética.....	14
b) Las perspectivas desde el lado de la demanda energética	19
2. La mitigación de emisiones de CO ₂ por consumo de combustibles fósiles	22
3. Delimitación del tema de investigación.....	26
4. Estructura del trabajo y metodología.....	30
1. EL ESTUDIO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ECONOMÍA.....	33
1.1. Introducción	33
1.2. La teoría económica y el medio ambiente	34
1.2.1. La economía clásica.....	34
1.2.2. La economía neoclásica	36
1.2.3. La economía keynesiana	40
1.3. Las sub-disciplinas económicas con enfoque ambiental	41
1.3.1. Las opciones neoclásicas: economía de los recursos naturales y economía ambiental	42
1.3.1.1. Economía de los recursos naturales.....	42
1.3.1.2. Economía ambiental	45
1.3.2. La economía ecológica: una visión transdisciplinaria	48
1.3.3. Otras visiones heterodoxas.....	54
1.4. El estudio del cambio climático en la economía	56
1.4.1. El enfoque convencional... y algunos cuestionamientos.....	56
1.4.1.1. El desacoplamiento economía-CO ₂	61
1.4.1.2. Sobre el desarrollo tecnológico y las tendencias en el gasto	65

a) La eficiencia energética	67
b) Las energías limpias	69
1.4.1.3. Un sitio para la demanda en el estudio del cambio climático	73
1.4.2. Enfoques alternativos.....	76
1.4.2.1. Los inventarios de emisiones basados en consumo	76
1.4.2.2. La desigualdad y el gasto de consumo al interior de los países	84
Estudios ascendentes (bottom-up).....	85
Estudios descendentes (top-down)	90
1.5. Enfoques alternativos aplicados al caso de México	94
1.5.1. Inventarios de emisiones de CO ₂ basados en consumo de México	95
1.5.2. La demanda de energía de los hogares por nivel de ingresos en México	97
1.6. Conclusiones	104
2. LAS ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN EN MÉXICO Y LA TRAYECTORIA DE LAS EMISIONES DE CO ₂ POR CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES	108
2.1. Introducción	108
2.2. Las estrategias de mitigación en México	109
2.2.1. La legislación	110
2.2.2. Generación eléctrica limpia.....	120
2.2.3. Eficiencia energética.....	127
2.3. La trayectoria de las emisiones de CO ₂ por consumo de combustibles fósiles .	139
2.4. Conclusiones	144
3. LA DEMANDA DE BIENES Y SERVICIOS DE LOS HOGARES Y LAS EMISIONES DE CO ₂ EN MÉXICO ENTRE 1990 Y 2014.....	147
3.1 Introducción	147
3.2 Enfoque ascendente (<i>bottom-up</i>).....	147
3.2.1 Metodología y datos.....	148
3.2.2 Adaptaciones en la aplicación de la metodología.....	153
3.2.2.1 Las emisiones de CO ₂ directas.....	153
Electricidad	154
Combustibles para la vivienda	155

Combustibles para el transporte	157
3.2.2.2 Las emisiones de CO ₂ indirectas.....	158
El vector de intensidades de CO ₂ directas	158
El vector de gasto por subsector por hogar.....	159
3.2.3 Resultados y discusión.....	166
3.2.3.1 Emisiones de CO ₂ directas	166
3.2.3.2 Emisiones de CO ₂ indirectas.....	169
3.2.3.3 Emisiones de CO ₂ totales	171
3.3 Enfoque descendente (<i>top-down</i>).....	178
3.3.1 Metodología y datos.....	179
3.3.2 Resultados y discusión.....	183
3.4 Comparación entre los análisis ascendente y descendente	188
3.5 Conclusiones	194
CONCLUSIONES FINALES	199
Anexo A. Integración del ingreso y el gasto	204
Anexo B. Catálogo de gastos y erogaciones, ENIGH	206
Anexo C. Estimaciones de emisiones de CO ₂ (metodología ascendente)	225
Anexo D. Estimaciones de emisiones de CO ₂ (metodología descendente)	227
Siglas.....	228
Abreviaturas	230
Referencias	231

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Mundo, 1965-2040: población, PIB y consumo de energía.....	21
Cuadro 2. Mundo, 1965-2015: Intensidad energética, por combustible fósil y de CO ₂ (valores promedio y crecimiento).....	24
Cuadro 1-1. Diferencias entre “inventarios de CO ₂ basados en consumo” e “inventarios de CO ₂ territoriales” (%).....	83
Cuadro 1-2. Elasticidad del consumo de energía total y las emisiones de CO ₂ totales per cápita con respecto al gasto de consumo de los hogares.....	87
Cuadro 1-3. Energía total o emisiones de CO ₂ totales por nivel de ingresos y su composición.....	88
Cuadro 2-1. Las metas de reducción de emisiones de GEI en México.....	118
Cuadro 2-2. Las metas de energía limpia en el sector eléctrico en México	119
Cuadro 2-3. Las metas de eficiencia energética en México	120
Cuadro 2-4. Dinámica de la generación eléctrica para el servicio público en México, 1965-2015.....	123
Cuadro 2-5. Potencial de generación eléctrica renovable en México, 2015 (GWh/año)...	125
Cuadro 2-6. Generación eléctrica observada e hipotética con aprovechamiento de recursos renovables probados en México, 2015.....	126
Cuadro 2-7. Programas de eficiencia energética y otros DSM en México	128
Cuadro 2-8. Intensidad energética sectorial del lado de la demanda de energía	131
Cuadro 2-9. Tasa de crecimiento acumulada de la intensidad energética por sector en México, 1965-2015 (%)	133
Cuadro 2-10. Consumo final energético por tipo de energía y por sector en México, 1965-2015.....	142
Cuadro 2-11. Emisiones de CO ₂ por uso de combustibles fósiles en México, 1990-2015	143
Cuadro 2-12. Ahorro energético y emisiones de CO ₂ evitadas a partir de las estrategias climáticas en México	144
Cuadro 3-1. Emisiones de CO ₂ en México, 2012.....	151
Cuadro 3-2. Energéticos consumidos por los hogares y asociados a emisiones de CO ₂ directas en México, 2012	154

Cuadro 3-3. Relación entre la MIP, el INEGyCEI y la ENIGH.....	161
Cuadro 3-4. Intensidades de CO ₂ directas e indirectas y gasto de los hogares por subsector en México, 2012	165
Cuadro 3-5. Gasto y consumo energético y emisiones de CO ₂ directas de los hogares por nivel de ingreso en México, 2012.....	167
Cuadro 3-6. Gasto total y emisiones de CO ₂ indirectas de los hogares por nivel de ingresos en México, 2012	170
Cuadro 3-7. Emisiones de CO ₂ totales de los hogares por nivel de ingresos en México, 2012	172
Cuadro 3-8. Emisiones de CO ₂ totales por satisfactor y por decil de ingresos en México, 2012 (MtCO ₂).....	176
Cuadro 3-9. Emisiones de CO ₂ anuales por nivel de ingresos en México, 1990-2014.	183
Cuadro 3-10. Índices de Gini de las emisiones de CO ₂ , el gasto total y el ingreso total en México, 1990-2014.....	186
Cuadro 3-11. Comparación de las emisiones de CO ₂ de los hogares en México, 2012: enfoque ascendente vs enfoque descendente.....	189
Cuadro 3-12. Comparación de las emisiones de CO ₂ de los hogares en México, 2012: enfoque ascendente con factor de ajuste global vs enfoque descendente	192
Cuadro 3-13. Diferencia en las emisiones de CO ₂ indirectas de los hogares en México, 2012: enfoque ascendente original – estimación con datos de MIP	193
Cuadro A-1. Integración del Ingreso Total	204
Cuadro A-2. Integración del Gasto Total.....	205
Cuadro C-1. Emisiones de CO ₂ directas por energético y por decil de hogares en México, 2012 (MtCO ₂).....	225
Cuadro C-2. Emisiones de CO ₂ indirectas por subsector económico y por decil de hogares en México, 2012 (MtCO ₂).....	226
Cuadro D-1. Emisiones de CO ₂ anuales por decil de hogares en México (MtCO ₂)	227
Cuadro D-2. Emisiones de CO ₂ por hogar por decil de hogares en México (tCO ₂).....	227
Cuadro D-3. Emisiones de CO ₂ per cápita por decil de hogares en México (tCO ₂)	227

ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema 1. La cadena energética.....	14
Esquema 2. Causas del uso intensivo de los fósiles desde la oferta	15
Esquema 3. La demanda de bienes y servicios de los hogares y el cambio climático	28
Esquema 1-1. La mitigación del cambio climático desde el enfoque convencional	61
Esquema 1-2. Las emisiones de CO ₂ en el ciclo económico completo	76

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Mundo, 2010: Composición de las emisiones de gases de efecto invernadero antropogénicas	13
Gráfico 2. Mundo, 1965-2015: Intensidad energética, por combustible fósil y de CO ₂	23
Gráfico 3. Mundo, 1965-2015: Consumo de energía primaria, consumo de recursos fósiles y emisiones de CO ₂ por consumo de combustibles fósiles	25
Gráfico 1-1. Tasas de crecimiento de las emisiones de CO ₂ y del PIB PPA a nivel mundial, 1972-2016.....	62
Gráfico 1-2. La relación entre el nivel económico y las emisiones de CO ₂ en el mundo, 1971-2015.....	62
Gráfico 1-3. Trayectoria de las emisiones de CO ₂ en México	96
Gráfico 2-1. Participación por tipo de energía en la generación eléctrica para el servicio público en México, 1965-2015.....	123
Gráfico 2-2. Integración de la generación eléctrica privada ^a por tipo de tecnología en México, 2014-2015 (%)	125
Gráfico 2-3. Intensidad energética macroeconómica y sectorial en México, 1965-2015..	133
Gráfico 2-4. Intensidad energética de la oferta de energía en México, 1990-2015.....	134
Gráfico 2-5. Intensidad energética en el sector transporte en México, 1990-2010.....	135
Gráfico 2-6. Intensidad energética en el sector residencial en México, 1965-2015.....	136
Gráfico 2-7. Consumo energético promedio anual por aparato en México (kWh/unidad)	137
Gráfico 2-8. Generación de emisiones de CO ₂ por consumo de combustibles fósiles en las industrias generadoras de energía en México, 1990-2015	140

Gráfico 2-9. Consumo de energía final (eje izquierdo) y consumo de energía final per cápita (eje derecho) en México, 1965-2015	141
Gráfico 2-10. Emisiones de CO ₂ por uso de combustibles fósiles en México, 1990-2015	143
Gráfico 3-1. Gasto total en energía de los hogares por nivel de ingresos, estructura e intensidad de CO ₂ por energético en México, 2012	168
Gráfico 3-2. Emisiones de CO ₂ directas por nivel de ingresos y estructura por energético en México, 2012.....	169
Gráfico 3-3. Estructura de las emisiones de CO ₂ indirectas de los hogares por nivel de ingreso en México, según subsector de producción, 2012.....	171
Gráfico 3-4. Intensidades de emisiones de CO ₂ totales, directas e indirectas por nivel de ingresos en México, 2012.....	173
Gráfico 3-5. Estructura de las emisiones de CO ₂ totales de los hogares por nivel de ingresos en México según necesidad específica, 2012.	174
Gráfico 3-6. Curvas de Engel de bienes básicos y bienes no-básicos en México, 2012....	177
Gráfico 3-7. Emisiones de CO ₂ anuales por nivel de ingresos en México, 1990-2014.....	185
Gráfico 3-8. Emisiones de CO ₂ promedio anual por hogar por nivel de ingresos en México, 1990-2014.....	187
Gráfico 3-9. Emisiones de CO ₂ promedio anual per cápita por nivel de ingresos en México, 1990-2014.....	187

RESUMEN

El cambio climático es uno de los problemas más complejos que enfrenta actualmente la humanidad. Las preocupaciones en torno a sus impactos y riesgos han concentrado la atención de múltiples actores, tanto del sector público como del privado y de la sociedad en general, lo que aunado a la evidencia científica progresiva de la incidencia del hombre en el fenómeno, ha derivado en un llamado urgente a tomar acciones para mitigar la generación de emisiones de bióxido de carbono (CO₂), el gas de efecto invernadero más abundante y con larga vida en la atmósfera. A pesar del despliegue de diversos esfuerzos de mitigación, la trayectoria de las emisiones de CO₂ en muchos países y a nivel global continúa al alza. De tal suerte, el cambio climático se mantiene como un desafío en las agendas nacional e internacional. ¿Cómo se ha analizado el problema desde el campo de la ciencia económica, qué estrategias de mitigación han emanado de este análisis y qué elementos han estado ausentes? De estos cuestionamientos generales parte este trabajo de investigación, para posteriormente estudiar el caso de México y el rol que el gasto de los hogares por niveles de ingreso ha jugado como posible *driver* de las emisiones de CO₂.

El análisis de las causas antropogénicas del cambio climático se ha centrado en el uso de combustibles fósiles —la base del sistema energético actual— ya que éstos son los principales generadores de emisiones de CO₂. Así, de manera natural, para mitigar el cambio climático se pretende reducir el uso de estos combustibles, lo cual se ha traducido en la implementación de dos principales estrategias de mitigación: eficiencia energética y aprovechamiento de energías limpias. Sin embargo, el alcance de estas estrategias ha sido limitado debido a un fuerte arraigo de los combustibles fósiles a lo largo de toda la cadena energética (oferta y demanda de energía) y a una creciente demanda de energía, lo que en conjunto ha mantenido la trayectoria de las emisiones de CO₂ al alza.

En medio de estas señales ambiguas, la trayectoria futura de las emisiones de CO₂ presenta gran incertidumbre. Para mitigar emisiones, de forma inicial se supone que el mercado, con precios correctos, envía las señales para estimular las inversiones, tanto en proyectos concretos de mitigación, como en actividades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación que contribuyan a ella. Si el mercado no logra estos estímulos, se

aboga por la intervención del Estado e incluso de la comunidad internacional. Sin embargo, tanto para el mercado como para el Estado, la mitigación del cambio climático no es la única ni la principal preocupación. En la teoría económica prima la libertad de los mercados, la tasa de ganancia del gran capital continúa en el primer renglón de las preocupaciones políticas, mientras que la seguridad energética se perfila cada vez más como elemento fundamental en la seguridad nacional. Estos y otros aspectos no van necesariamente de la mano de los intereses climáticos, de hecho, es más frecuente que se confronten.

La preocupación por esta incierta trayectoria de las emisiones de CO₂ indujo al presente trabajo a la búsqueda de alternativas para hacer frente al problema climático. Como punto de partida, se observó que desde la ciencia económica, en conjunto con elementos de otros campos como las ciencias naturales y la ingeniería, se ha amalgamado un enfoque analítico del cambio climático que estudia sus causas principalmente en el lado de la oferta (sistemas de producción) y muy poco en el lado de la demanda (sistemas de consumo). Este enfoque ha tenido un peso importante en la política climática de mitigación, que si bien no emana puramente de la ciencia, se ha inclinado igualmente a gestar estrategias centradas en la oferta. Dada esta brecha tanto en el estudio de las causas de las emisiones de CO₂ como en las estrategias de mitigación, esta investigación centra su análisis en el lado de la demanda final, particularmente en la demanda de los hogares, donde se considera, además, la heterogeneidad de la demanda por niveles de ingreso.

En suma, el problema identificado es que hay una trayectoria creciente de las emisiones de CO₂ que las estrategias de mitigación no han logrado revertir. Ya que estas estrategias devienen, al menos en parte, de un enfoque analítico que privilegia el estudio de la oferta, se ha pasado por alto la relación entre la demanda y la generación de emisiones de CO₂, así como su margen de acción para mitigarlas. Con la intención de verificar tal relación y subsanar esta carencia en la investigación, se definió hacer un análisis retrospectivo para el caso de México en el periodo 1990-2014. Concretamente la **hipótesis** a mostrar en este caso de estudio es que existe una relación directa entre la demanda de bienes y servicios de los hogares por nivel de ingresos y la generación de emisiones de

CO₂, por lo que los hogares con mayores ingresos inducen en mayor medida la emisión de CO₂, tanto de forma directa (emisiones de CO₂ generadas por consumo de energía) como indirecta (emisiones de CO₂ incorporadas en bienes y servicios).

Así, el **objetivo general** de esta tesis es analizar la relación entre la demanda de bienes y servicios de los hogares por niveles de ingreso en México de 1990 a 2014 y la trayectoria de las emisiones de CO₂. Mientras que los **objetivos particulares** son: i) examinar críticamente las formas en las que la ciencia económica estudia las causas y la mitigación del cambio climático y determinar si existen aproximaciones de estudio desde el lado de la demanda; ii) analizar los alcances de las estrategias de mitigación del cambio climático implementadas en México sobre las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles; y iii) estudiar cuantitativamente la estructura y la dinámica de la demanda de bienes y servicios de los hogares por niveles de ingreso en México de 1990 a 2014 y su relación con la generación de emisiones de CO₂ basadas en consumo (directas e indirectas).

La argumentación de la presente tesis se organiza en tres capítulos. El primero incluye el marco teórico en el que se ha fundado el enfoque convencional del estudio del cambio climático, así como perspectivas analíticas alternativas que han incorporado formalmente el análisis de la demanda y la desigualdad en el estudio del cambio climático. El segundo capítulo estudia los alcances de las diversas opciones de mitigación implementadas en México, las cuales, se verifica, estuvieron centradas en la oferta. Finalmente, el tercer capítulo constituye el análisis cuantitativo de la relación entre la demanda de los hogares mexicanos por niveles de ingreso y las emisiones de CO₂. A continuación, se presenta de forma breve el contenido de los tres capítulos.

Capítulo 1: El estudio del cambio climático en la economía

El análisis de la relación entre la actividad económica y la naturaleza ocupó un lugar central en la teoría económica clásica, en la que se consideró que los recursos naturales y el medio ambiente podían limitar el crecimiento económico. Sin embargo, a partir de la teoría económica neoclásica, desarrollada en un mundo en constante cambio e impresionado por los avances de la ciencia y la tecnología, las preocupaciones en torno a la naturaleza

pasaron a segundo plano. Al cabo del tiempo, algunos problemas medioambientales afectaron significativamente la actividad económica, lo que llevó a la economía a reconsiderar en sus planteamientos formales su interacción con la naturaleza.

En el devenir de la teoría económica, incluido el tratamiento de los temas ambientales, la economía neoclásica se ha mantenido como el *mainstream* económico vigente, donde prima el libre mercado y se busca la asignación eficiente de los recursos productivos para tener resultados óptimos en el sentido de la maximización de la satisfacción de los consumidores. Sin embargo, dada la complejidad y permanencia de los problemas ambientales, la perspectiva puramente neoclásica se ha modificado en una especie de *mainstream* ampliado, el cual reconoce la existencia de fallas de mercado y legitima la intervención del Estado (al menos en el corto plazo).

Así, el estudio del cambio climático en la economía se ha caracterizado por conservar raíces de la teoría económica neoclásica, que en conjunto con elementos teóricos y prácticos de otros campos, como las ciencias naturales y la ingeniería, han integrado un enfoque analítico que predomina en la mayoría de los estudios del cambio climático, así como en la gestación de estrategias para la mitigación. El enfoque convencional amalgamado se distingue por la idea subyacente de que la tecnología, el financiamiento y las políticas públicas (en caso necesario y de corto plazo) posibilitan la compatibilidad entre el crecimiento económico y la mitigación del cambio climático. En tal perspectiva, se plantea que el desacoplamiento del crecimiento económico de las emisiones de CO₂ puede lograrse mediante el impulso a la eficiencia energética y la sustitución de energías fósiles por energías limpias, a fin de reducir la intensidad energética y la intensidad de carbono de la energía, respectivamente.

En consecuencia, la mitigación del cambio climático se centra en mayor medida en el lado de la oferta, ignorando una parte significativa del problema: la demanda. La demanda solo se considera cuando se trata de la demanda directa de energía, mientras que al resto de la demanda de bienes y servicios se le trata como si no tuviera injerencia sobre el problema climático. Esta omisión puede tener graves consecuencias, ya que ciertas características de la propia demanda pueden obstaculizar o revertir el progreso de las

actuales estrategias de mitigación, por ejemplo: a) una demanda de energía tan alta que no pueda satisfacerse mediante energías limpias, las cuales presentan diversas dificultades para ampliar masivamente su uso; b) un efecto rebote directo o indirecto sobre la demanda de energía como efecto adverso de la eficiencia energética (paradoja de Jevons).

Si bien con el enfoque convencional se han implementado estrategias de mitigación que han evitado la generación de miles de emisiones de CO₂, hasta ahora no han logrado un punto de inflexión que lleve a dichas emisiones a la baja. Las estrategias de mitigación enfrentan múltiples dificultades; muchas de ellas van más allá de las posibilidades de inversión o del progreso tecnológico y se relacionan con la demanda. Así, a la luz del insuficiente alcance de las estrategias convencionales y dada su interacción con la demanda, en este trabajo se incorpora el análisis de la demanda en el estudio del problema climático. Para ello, se ubicaron dos perspectivas analíticas de utilidad:

- 1) La responsabilidad de las emisiones de CO₂ puede ser asignada al país consumidor mediante el uso de los inventarios de emisiones basados en consumo¹ (alternativos a los inventarios territoriales² generalmente usados). Los inventarios basados en consumo permiten distinguir diferentes niveles de emisiones entre países de acuerdo a su demanda final. Estos inventarios revelan que gran parte de los países desarrollados son importadores netos de emisiones, mientras que los países en desarrollo tienden a ser exportadores netos de emisiones, debido a que los flujos de comercio internacional incorporan emisiones. En algunos casos, los inventarios basados en consumo presentan fuertes contrastes con los inventarios territoriales, lo que invita a una reflexión más profunda sobre la trayectoria de las emisiones en diversos países y la responsabilidad de las emisiones de acuerdo a sus actividades (producción-consumo), lo cual podría abrir opciones novedosas en las complicadas negociaciones internacionales.

¹ Inventarios que contabilizan las emisiones incorporadas en los bienes y servicios de consumo final (excluyen las emisiones de producción de los bienes exportados e incluyen las de los importados), así como las derivadas del consumo energético como bien final en un país.

² Inventarios que contabilizan las emisiones de la producción de energía y de los sectores productivos instalados al interior del país, así como las derivadas del consumo energético como bien final.

- 2) Las emisiones de CO₂ derivadas del consumo al interior de los países son heterogéneas entre hogares (o individuos) y las diferencias podrían estar relacionadas con los niveles de ingreso y los patrones de gasto. Al analizar cuantitativamente las emisiones por grupos de ingresos al interior de diversos países, con estimaciones ascendentes (*bottom-up*) o descendentes (*top-down*), diversos estudios han encontrado que los hogares o individuos con ingresos más altos generan mayores emisiones de CO₂ (directas e indirectas) que los de ingresos bajos.

Capítulo 2: Las estrategias de mitigación en México y la trayectoria de las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles

El gobierno mexicano ha enfatizado una postura proactiva ante el cambio climático en el escenario global, a pesar de que sus emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles apenas representan una pequeña fracción de las emisiones a nivel mundial: 1.4% en 2015 (IEA, 2017a). En línea con el enfoque convencional, las principales estrategias de mitigación implementadas en el país han sido la generación eléctrica limpia y la eficiencia energética, las cuales buscan reducir la generación de emisiones de CO₂ por uso de combustibles fósiles (con enfoque territorial). Estas estrategias se han acompañado de diversas metas específicas, principalmente para la reducción de emisiones³ y la generación eléctrica limpia⁴, y han sido impulsadas desde un marco legislativo e institucional que a pesar de ser amplio y dinámico, presenta diversos inconvenientes, por ejemplo, falta de estrategias claras y ajustes discrecionales.

Sobre la generación eléctrica, actualmente la matriz de producción eléctrica mexicana es una matriz preponderantemente fósil. En 2015, el sesgo fósil en la producción eléctrica para servicio público ascendió a 81%; mientras que en la producción privada, el 74% de la generación eléctrica se hizo con base en fósiles. Aunque el aprovechamiento de los recursos renovables para la generación eléctrica ha mostrado un crecimiento continuo, el crecimiento en la generación eléctrica lo ha superado, por lo que la participación relativa

³ Reducir 22% las emisiones de gases de efecto invernadero para 2030 con respecto a la línea base (meta no condicionada) (INDC, 2015).

⁴ Generar el 25% de la energía eléctrica con base en energías limpias para 2018, 30% para 2021 y 35% para 2024 (LTE, 2015).

de los recursos renovables en la matriz eléctrica entre 1965 y 2015 ha descendido. Inclusive si en 2015 se hubiera utilizado el potencial total de recursos renovables probados (técnica y económicamente factibles), la participación fósil habría alcanzado el 65%. De tal suerte, para que el aprovechamiento de energías renovables tenga un alcance significativo en la matriz eléctrica, es indispensable que se reduzca la demanda de energía eléctrica.

Precisamente, las políticas de eficiencia energética y otras estrategias de gestión de la demanda de energía (*Demand-Side Management, DSM*) se han implementado con el objetivo de reducir el consumo energético. En México, la mayor parte de estas políticas se han encaminado a reducir la demanda de energía eléctrica mediante la mejora en la tecnología de aparatos y equipos eléctricos. De tal modo, se ha prestado menor atención a la reducción de la demanda de otro tipo de energía, así como al impulso a la conservación de la energía (cambios en el comportamiento de los consumidores para reducir su demanda de energía).

A nivel sectorial, la implementación de estas políticas no ha sido homogénea, mientras en el sector residencial se han aplicado diversas estrategias, el sector transporte se mantuvo rezagado durante muchos años, de tal modo que las estrategias de eficiencia energética y DSM en este sector han sido escasas, un hecho preocupante por tratarse del principal consumidor de energía y el que mayor crecimiento de demanda de energía ha presentado. Dados estos contrastes, la trayectoria de la intensidad energética (índice frecuentemente utilizado para evaluar los alcances de la eficiencia energética y otras DSM) a nivel sectorial ha sido variada: tendencias desfavorables en los sectores energético y agrícola; sin cambios significativos en los sectores de manufactura, servicios y transporte; avances en el sector residencial. En conjunto, estas tendencias llevaron a la intensidad energética macroeconómica a mantener un nivel relativamente estable.

En suma, hasta ahora las estrategias de mitigación no han modificado significativamente la trayectoria de las emisiones de CO₂ por uso de combustibles fósiles. En el periodo de estudio se mantuvo una tendencia creciente de dichas emisiones: 2.2% promedio anual entre 1990 y 2002, 1.6% promedio anual entre 2003 y 2015 y 58% acumulado entre 1990 y 2015.

Capítulo 3: La demanda de bienes y servicios de los hogares y las emisiones de CO₂ en México entre 1990 y 2014

El análisis empírico cuantitativo se aplicó mediante dos metodologías: un análisis ascendente (*bottom-up*) para 2012 y un análisis descendente (*top-down*) para el periodo 1990-2014.

Análisis ascendente

El análisis ascendente para 2012 sigue la metodología de Golley y Meng (2012), que utiliza análisis insumo-producto (I-P) e información del gasto de los hogares y las emisiones de CO₂ a nivel sectorial con el fin de determinar las emisiones de CO₂ de los hogares por nivel de ingresos y distinguir su estructura según tipo de demanda. Las fuentes de información primordiales fueron: la Encuesta Nacional de Ingreso y Gasto de los Hogares (ENIGH) de 2012 (INEGI, 2013), la Matriz Insumo-Producto (MIP) de 2012 (INEGI, 2014b), el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI) de 2012 (INECC-SEMARNAT, 2018) y el Sistema de Información Energética (SIE, 2018).

Los resultados de la aplicación de esta metodología para el caso de México en 2012 apuntan a una relación directa entre el nivel de ingresos de los hogares y las emisiones de CO₂ con una forma cóncava hacia arriba, es decir, las emisiones de CO₂ aumentaron a un ritmo creciente a medida que el ingreso de los hogares fue mayor. Con este análisis se estimaron un total de 186.1 mega-toneladas de bióxido de carbono (MtCO₂) asociadas con el gasto de los hogares y un coeficiente de Gini de carbono de 0.36. De acuerdo con estas estimaciones, el 10% de los hogares más pobres emitieron alrededor del 2.7% de las emisiones de CO₂ del sector hogares, mientras que el 10% de los hogares más ricos participaron con el 26.7%. En términos relativos, las emisiones por hogar y per cápita del decil X ascendieron a 15.7 y 4.0 tCO₂ anuales, mientras que las del decil I fueron 1.6 y 0.6 tCO₂ anuales, respectivamente.

Por otra parte, ya que la metodología ascendente permite estimar la intensidad de carbono del gasto según decil de hogares, se encontró que el gasto del decil X es el que presenta menor intensidad de CO₂, seguido del gasto del decil I, por lo que las intensidades

de CO₂ del gasto dibujaron una suave U invertida a lo largo de la curva de ingresos. Asimismo, la metodología ascendente permite distinguir la estructura de las emisiones de CO₂, con lo que se identificó que los principales impulsores de carbono del lado de la demanda en 2012 fueron: movilidad (40.5%), energía para la vivienda (26.1%) y alimentación (15.2%). En torno a la movilidad, la demanda de transporte privado (combustibles y autos) jugó un papel determinante, principalmente en los estratos de mayores ingresos. Finalmente, con este conjunto de estimaciones se calculó una elasticidad gasto-emisiones de CO₂ de 0.97 para toda la distribución.

Análisis descendente

El análisis descendente para el periodo 1990-2014 sigue la metodología de Chancel y Piketty (2015), que consiste en un modelo de elasticidad gasto-emisiones de CO₂ para atribuir emisiones de CO₂ a los hogares por nivel de ingreso para el periodo completo. Las principales fuentes de información utilizadas fueron las ENIGH (INEGI, varios años)⁵ y el inventario de emisiones de CO₂ con base en consumo del *Carbon Dioxide Information Analysis Center* (CDIAC) (Le Quéré, y otros, 2016), así como el valor de la elasticidad estimado con la metodología ascendente (0.97).

Entre 1990 y 2014, las emisiones de CO₂ de los hogares con ingresos altos fueron considerablemente mayores que las de los hogares con ingresos bajos, tanto en términos absolutos como por hogar y per cápita: los hogares del decil X emitieron 109.2 MtCO₂ promedio anual, mientras que los hogares del decil I emitieron 7.8 MtCO₂ promedio anual; el promedio de emisiones de CO₂ por hogar del decil X fue de 45.2 tCO₂ y el promedio del decil I de 3.1 tCO₂; un individuo del decil X emitió alrededor de 10.6 tCO₂, mientras que un individuo del decil I generó en promedio 0.9 tCO₂.

A lo largo de todo el periodo, se registraron incrementos en el nivel de emisiones de CO₂ de los hogares en todos los estratos de ingreso, con tasas mayores en los hogares con ingresos bajos. No obstante, la brecha de carbono entre hogares ricos y pobres presentó un

⁵ La ENIGH 1989 se utilizó como un proxy de 1990 y se utilizaron las ENIGH del periodo 1992-2014 para así cubrir el periodo 1990-2014 bienalmente.

incremento entre 1990 y 2014, pero que con cambios en las emisiones de otros grupos de ingresos llevaron al índice de Gini del carbono a la baja en años recientes.

Comparación de los análisis ascendente y descendente.

Los resultados de la aplicación de las metodologías de Golley y Meng (2012) y de Chancel y Piketty (2015) para la estimación de emisiones de CO₂ totales de los hogares por niveles de ingreso en México coinciden en señalar una fuerte desigualdad en el nivel de emisiones de los hogares por niveles de ingreso, derivada de sus patrones de gasto. Sin embargo, dadas las limitaciones de las metodologías y las fuentes de información utilizadas, los resultados entre ambos análisis no son estrictamente comparables.

Fundamentalmente, se identificaron dos diferencias en el año 2012: 1) el análisis descendente apunta a un nivel de desigualdad de emisiones ligeramente mayor que el análisis ascendente (índices de Gini de 0.38 y 0.36, respectivamente), lo cual se explica porque el análisis descendente no distingue las distintas intensidades de CO₂ entre los deciles de hogares; 2) el nivel de emisiones de CO₂ del análisis ascendente es considerablemente más bajo que el estimado con el análisis descendente (186.1 y 395.7 MtCO₂, respectivamente), lo cual se explica por el sub-reporte de gasto en la ENIGH y su desajuste con las Cuentas Nacionales.

En ambas metodologías, se considera altamente probable que se haya incurrido en una subestimación de emisiones de CO₂ en los hogares ingresos más altos, debido al ya referido sub-reporte de gasto en la ENIGH, el cual afecta principalmente a los deciles de hogares con mayores ingresos. Ya que el sub-reporte de gasto en la ENIGH y su desajuste con las Cuentas Nacionales es un problema de larga data sobre el que hasta ahora no se ha logrado un consenso para su corrección, esta limitante por ahora solo se señala con el ánimo de contribuir a una correcta interpretación de los resultados; así también para que esta problemática pueda ser retomada en investigaciones futuras y mejorar las estimaciones aquí realizadas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1. El cambio climático, la energía y los combustibles fósiles

La evidencia científica progresiva de la existencia del cambio climático, de la incidencia del hombre en el fenómeno y de las graves consecuencias que podría acarrear, hacen del cambio climático un tema central⁶. La preocupación no es menor, ya que los efectos potenciales del cambio climático derivan en un desequilibrio ecológico que pone en riesgo las formas de vida del planeta (IPCC, 2013; IPCC, 2014a; IPCC, 2014b)⁷.

Múltiples impactos son ya una realidad. A nivel general, la atmósfera y el océano se han calentado; los volúmenes de nieve y hielo han disminuido; el nivel del mar se ha elevado; hay alteraciones en el ciclo global del agua; y los fenómenos climáticos extremos (precipitaciones intensas, sequías, olas de calor, ciclones tropicales, etc.) son más frecuentes, fuertes e impredecibles (IPCC, 2013). Estos impactos han inducido otros, por ejemplo, cambios en la cantidad y calidad de los recursos hídricos; alteraciones en la distribución geográfica, actividades de temporada, patrones de migración, abundancia e interacción de especies terrestres, marinas y de agua dulce; reducción de los rendimientos de los cultivos (en pocos casos han aumentado); incremento de la mortalidad por calor; cambios en la distribución de ciertas enfermedades; entre otros. Las personas marginadas social, económica, política, institucionalmente o de algún otro modo son especialmente vulnerables al cambio climático (IPCC, 2014a).

El riesgo de que estos impactos se exacerben o se sumen otros es muy alto de no actuar rápidamente, de ahí la urgencia de mitigar, pues de no hacerlo oportunamente, las posibilidades de adaptación serían insuficientes para enfrentar el problema (IEA, 2015a; IEA, 2016; IPCC, 2013; IPCC, 2014a; IPCC, 2014b; UNFCCC, 2015). Así, la mitigación

⁶ La importancia del problema climático es cada vez más aceptada, empero existe también un debate que cuestiona la responsabilidad humana en el cambio climático, la influencia de factores no científicos en el veredicto e incluso refuta la existencia misma del fenómeno. Ver, por ejemplo, Lezama (2013).

⁷ Para sustentar esta idea general, numerosos estudios serios podrían citarse. No obstante, solo se señalan los últimos informes de los tres grupos de trabajo del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (*IPCC*, por sus siglas en inglés), por considerarlos como los más significativos en la actualidad por su amplitud y alcance. A través del Panel se articulan las investigaciones más recientes de gran parte de la comunidad científica internacional dedicada al estudio del cambio climático.

del cambio climático atrae constantemente la atención de diversos actores, desde niveles micro, hasta el ámbito internacional, algunos preocupados por el tema climático, otros interesados también en los beneficios colaterales que dicha actividad podría aportar. La trascendencia del tema es tal, que inclusive hay quienes visualizan la mitigación del cambio climático como un bien público global (Kaul, Grunberg, & Stern, 1999); y de hecho, la comunidad internacional se ha movilizó en torno a este objetivo. Destaca, por ejemplo, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (*UNFCCC*, por sus siglas en inglés) y sus reuniones anuales de la Conferencia de las Partes (*COP*, por sus siglas en inglés).

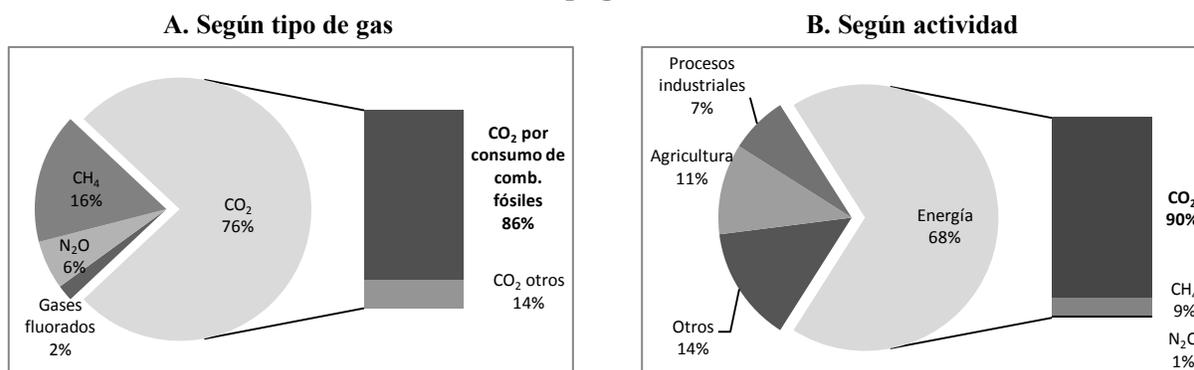
Pese a lo que pareciera una inigualable suma de esfuerzos, la lucha contra el cambio climático no está exenta de dificultades y controversias. Aun suponiendo unanimidad en torno a la existencia del cambio climático y las causas antropogénicas del mismo, poner un freno a la emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), cuya alta concentración atmosférica es causante del cambio climático global, plantea severos retos en la civilización actual. De forma particular, limitar las emisiones de bióxido de carbono (CO_2) —el gas de efecto invernadero más abundante y con larga vida en la atmósfera— implica reducir considerablemente el uso de combustibles fósiles, la base del sistema energético actual.

Para evidenciar la importancia del CO_2 , los combustibles fósiles y el sistema energético en la generación de emisiones de GEI antropogénicas, los Gráficos 1A y 1B muestran la composición de éstas a nivel mundial en 2010, según tipo de gas y según actividad, respectivamente. En lo que corresponde al tipo de gas, las emisiones de GEI ascendieron a 49 (± 4.5) gigatoneladas de bióxido de carbono equivalente anual ($\text{GtCO}_2\text{e/año}$), de las cuales 32 $\text{GtCO}_2\text{e/año}$ fueron emisiones de CO_2 por uso de combustibles fósiles (IPCC, 2014b). En cuanto al tipo de actividad, la energía⁸ fue la principal actividad generadora de GEI, y principalmente de CO_2 : más del 60% de las emisiones de GEI fueron emisiones de CO_2 relacionadas con la energía, ya fuera por la quema de combustibles fósiles (la gran mayoría) o por emisiones fugitivas. Pese a que la

⁸ Considera todo el sistema energético (producción y consumo de energía), no solo las actividades del sector energético.

participación de los combustibles fósiles en la oferta de energía primaria total entre 1971 y 2014 descendió de 86 a 82%, en valores absolutos la oferta de energía primaria fósil fue más del doble dado el crecimiento de la demanda energética (IEA, 2016).

Gráfico 1. Mundo, 2010: Composición de las emisiones de gases de efecto invernadero antropogénicas



Elaboración propia con base en datos del IPCC (2014b).

Fuente: *CO₂ emissions from fuel combustion 2016*, IEA (2016).

La energía constituye un insumo fundamental en la actividad económica y en el estilo de vida actual, por lo que el sistema energético está inmerso en una amplia cadena de actividades. Este sistema está integrado por el sector energético (producción, transformación y distribución de energía) que oferta energía primaria⁹ y secundaria¹⁰; y múltiples sectores de consumo (industria, hogares, transporte, etc.) que demandan energía final¹¹. El Esquema 1 muestra en la parte superior la idea general de la cadena energética y en la parte inferior un ejemplo de ella; e ilustrativamente es posible seccionar el sector oferta (primeros cuatro cuadros) del sector demanda (últimos tres cuadros). En el ejemplo, a partir de las reservas de crudo, el sector energético produce energía primaria (crudo),

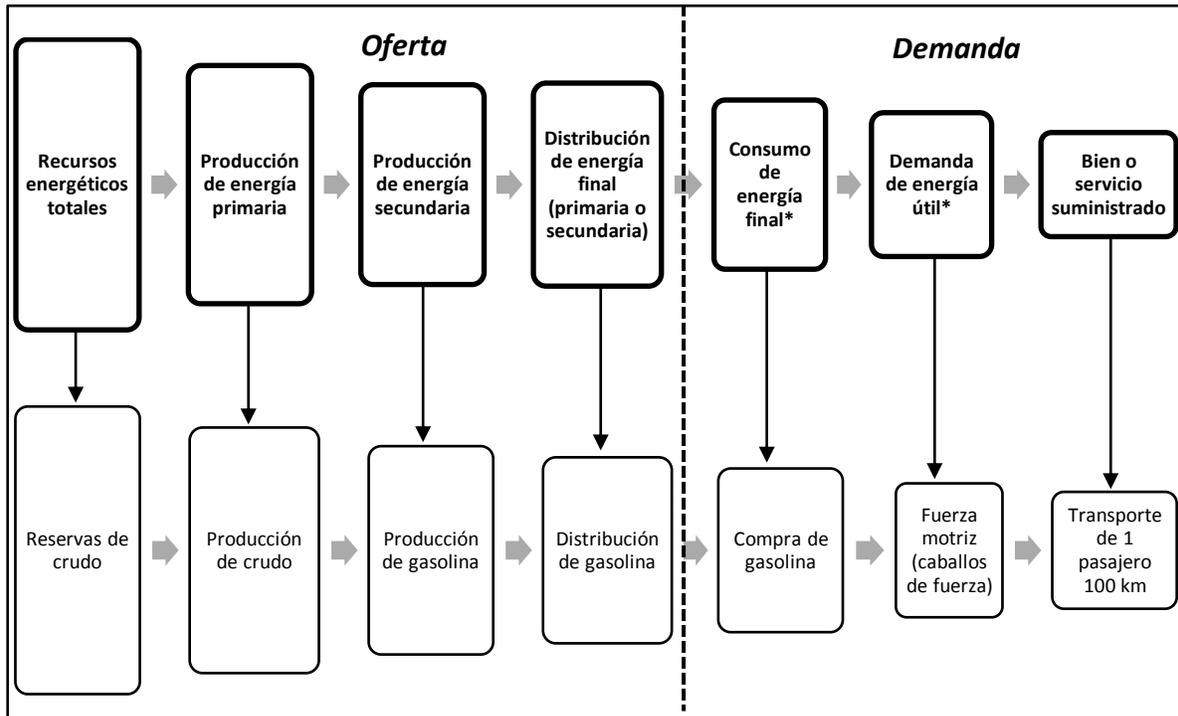
⁹ Energía primaria: las distintas formas de energía tal como se obtienen de la naturaleza, ya sea, en forma directa como en el caso de la energía hidráulica o solar, la leña, y otros combustibles vegetales; o después de un proceso de extracción como el petróleo, carbón mineral, geoenergía, etc. (SIE, 2018).

¹⁰ Energía secundaria: los diferentes productos energéticos que provienen de los distintos centros de transformación y cuyo destino son los sectores de consumo y/o centros de transformación (SIE, 2018).

¹¹ Energía final: energía, primaria o secundaria, que es utilizada directamente por el consumidor final. Es la energía tal cual entra al sector consumo y se diferencia de la energía neta (sin pérdidas de transformación, transmisión, transporte, distribución y almacenamiento) por el consumo propio del sector energía. Incluye al consumo energético (consumo de productos como gasolinas, gas natural, diesel, gas licuado, electricidad, combustóleo, querosenos, etc. que tienen como fin generar calor o energía, para uso en transporte, industrial o doméstico) y al consumo no energético (consumo de productos como gasolinas, gas natural, diesel, gas licuado, electricidad, combustóleo, querosenos, etc. para uso como materia prima en procesos) (SIE, 2018).

posteriormente la transforma en energía secundaria (gasolina) y finalmente la distribuye. Por su parte, los consumidores compran gasolina con el fin de proveer de fuerza motriz a sus vehículos y lograr su objetivo final, transportar 1 pasajero 100 kilómetros.

Esquema 1. La cadena energética



* La diferencia entre el consumo de energía final y la demanda de energía útil está determinada por la eficiencia energética del equipo utilizado para satisfacer una necesidad.

Elaboración propia con base en IAEA (2015).

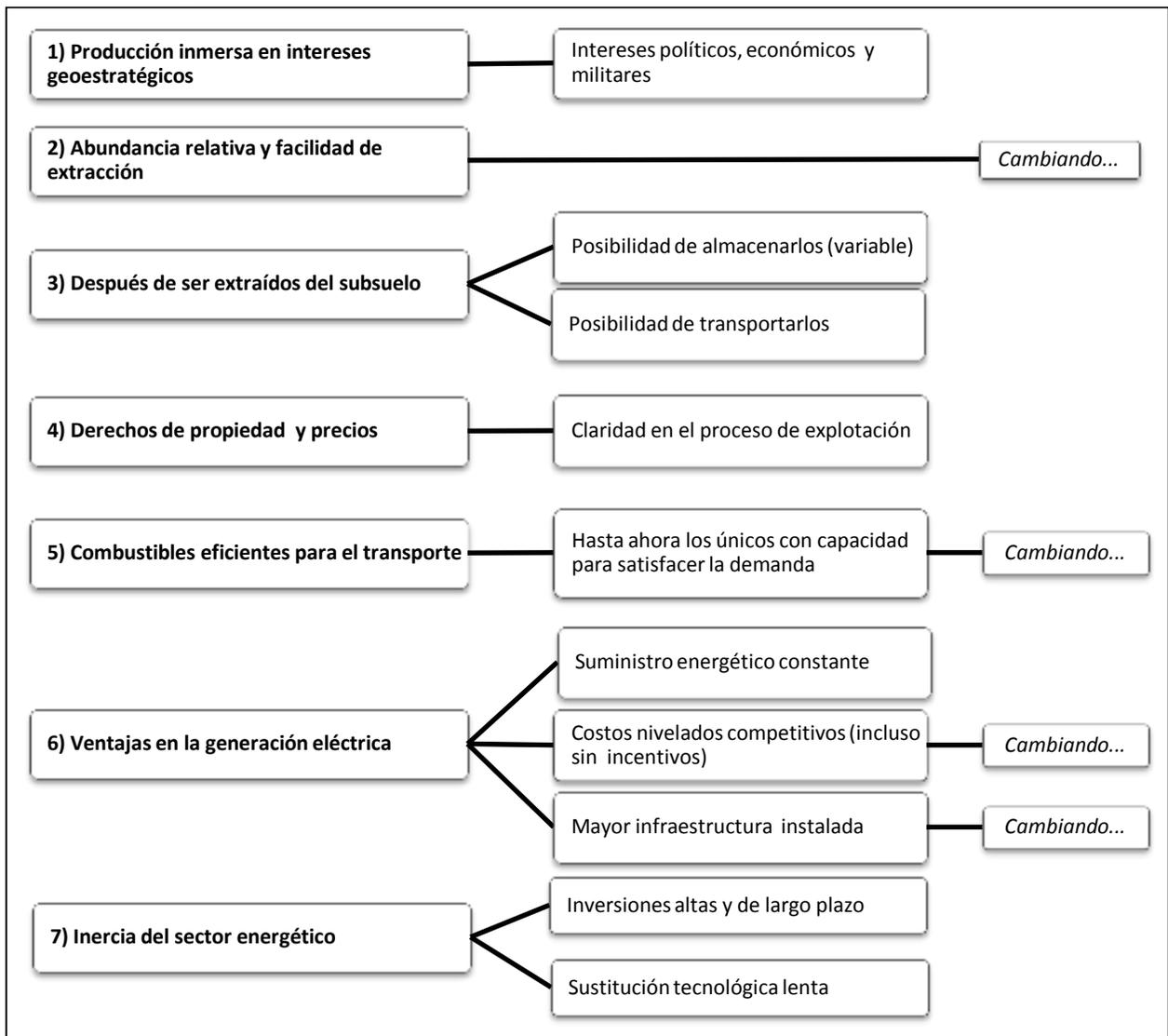
A pesar de que en la cadena energética existen otros recursos que podrían operar como sustitutos de los recursos fósiles, al menos parcialmente, existen diversas razones por las cuales el empleo de los fósiles está arraigado en esta cadena, y así en múltiples ámbitos de la sociedad. Se analizan a continuación algunas de estas razones, tanto desde la perspectiva de la oferta energética, como desde la demanda energética.

a) Los combustibles fósiles desde la oferta energética

Al referir a los recursos fósiles del lado de la oferta energética, se alude a las actividades de producción, transformación y distribución de combustibles fósiles para ofrecer energía primaria y secundaria. En el Esquema 2 se aprecian, de manera simplificada, algunas de las

razones desde la oferta que parecen perpetuar el uso de los fósiles. Se enlistan siete factores que inciden en el uso continuo de los fósiles, varios de ellos con la leyenda “cambiando”, para esbozar que algunas de las ventajas que supondría el uso de fósiles, ya no son tan amplias en la actualidad como en el pasado lo eran.

Esquema 2. Causas del uso intensivo de los fósiles desde la oferta



Elaboración propia.

Respecto al primero, intereses geoestratégicos, es indispensable apuntar que los hidrocarburos son materias *sui generis*, que nunca se han dejado al pleno arbitrio del mercado, su oferta y fijación de precios están envueltas en estrategias civiles, militares, económicas, políticas e industriales. Las grandes fluctuaciones de los precios del petróleo

son un buen ejemplo de un mercado imperfecto, no son un reflejo estímulo-respuesta de la demanda, por cierto muy inelástica (Puyana, 2015). El control, la producción, el transporte y el procesamiento de los recursos fósiles, son intereses prioritarios de política pública. Desde principios del siglo XX, cuando el petróleo se convirtió en el principal combustible de las fuerzas armadas de Estados Unidos, Francia y Reino Unido, hasta nuestros días, el suministro petrolero adecuado es una estrategia militar para preservar la estructura mundial de poder. Por otra parte, la contribución del petróleo al desarrollo y la evolución de diversos sectores, como el transporte y la manufactura, haciéndolos de hecho más rentables, develan parte de su vigor en materia económica e industrial (*Ibidem*).

Además, una elite reducida, pero con mucho poder, mantiene un fuerte interés en que la economía continúe siendo intensiva en uso de recursos fósiles. El número de multimillonarios con intereses en el sector de los combustibles fósiles ha pasado de 54 en 2010, a 88 en 2015, mientras que el conjunto de sus fortunas personales se ha incrementado 50%, pasando de más de 200,000 millones de dólares a más de 300,000 millones en dicho periodo (OXFAM, 2015).

El número dos expone la abundancia relativa de los recursos fósiles que posibilita su explotación, pero que dada la asimétrica distribución de las reservas y el consumo, crea contradicciones y tensiones entre los que poseen los recursos y los que los consumen más relativamente. Pese a que los hidrocarburos son recursos no renovables, por ende agotables, en la actualidad gracias al desarrollo tecnológico se ha logrado tener acceso a campos fósiles que anteriormente eran impensables, lo que ha derivado en un incremento de las reservas de hidrocarburos¹², sin negar la influencia de otros factores, como por ejemplo, la política de la Organización de los Países Exportadores de Petróleo (*OPEC*, por sus siglas en inglés) de reducir su producción e incrementar drásticamente los precios del crudo en la década de los setentas. En la actualidad, la escasez o abundancia de los recursos fósiles es objeto de constante debate. El desarrollo tecnológico en conjunto con aspectos económicos,

¹² En 1980 había 683 mil millones de barriles de reservas petroleras probadas, para 2014 se estimaron 1,700; y las reservas probadas de gas natural pasaron de 72 a 187 billones de metros cúbicos en el mismo periodo (BP, 2016).

parecen desafiar teorías, como la del pico de Hubbert, que hoy más bien parece una U invertida con un sesgo indefinido a la derecha (Ryan, 2003; Smith J. L., 2010; Watkins, 2006).

Los puntos tres y cuatro tienen que ver con el hecho de que los recursos fósiles son bienes tangibles, con características de bienes privados (exclusión y rivalidad). El tercer punto, la posibilidad de almacenar y transportar recursos fósiles una vez extraídos del subsuelo, resalta la viabilidad de tener dichos recursos disponibles en el tiempo y el espacio requeridos, aunque su gestión presenta ciertas dificultades. El almacenamiento de los combustibles fósiles es limitado y variable. El volumen y el tiempo de almacenaje están acotados y cambian en función de aspectos como la tecnología disponible, los precios, las expectativas a futuro, el costo financiero, los riesgos, etc.¹³ Por su parte, el transporte, ya sea por ducto, barco, ferrocarril o carretera, también implica costos financieros y riesgos, estos últimos muy altos si no existen protocolos de seguridad adecuados.¹⁴ Pese a ello, el manejo de los combustibles fósiles es más sencillo que el de las energías renovables, que a pesar de ser abundantes, son intermitentes, no almacenables a gran escala y no transportables.

El elemento cuatro refiere que es relativamente más fácil establecer derechos de propiedad y precios de los combustibles fósiles que de las energías renovables, lo que proporciona mayor claridad en el proceso de explotación. Si bien es cierto que la propiedad pública o privada de los recursos fósiles ha sido una pugna latente históricamente en prácticamente todas las sociedades, en el caso de las energías renovables, por ejemplo, la solar y la eólica, las dificultades se exacerban porque no solo es duro determinar los derechos de propiedad, es también difícil cuantificar acervos y flujos, lo que además complejiza el establecimiento de los precios.

¹³ Por ejemplo, en 2014 y 2015 con bajas tasas de interés, bajos precios del crudo y perspectivas de que éstos subirían, se elevaron los inventarios, por lo que los precios *spot* fueron más bajos que los precios futuros. Entonces se comenzaron a vender los inventarios, lo que mantuvo la caída de los precios, pero con las perspectivas de que subirían las tasas de interés en Estados Unidos, volvió la acumulación de inventarios.

¹⁴ Ver, por ejemplo, de la Vega (2015b).

El número cinco relaciona a los hidrocarburos con el sector transporte, un sector con gran incertidumbre en torno a la evolución energética. El transporte es prácticamente un mercado cautivo del petróleo, como se señalara desde hace ya más de una década (Commission of the European Communities, 2000). Hoy día, a pesar de que se han desarrollado algunas opciones como autos eléctricos y biocombustibles, hasta ahora éstos no logran abastecer la gran demanda del sector transporte e incluso presentan algunos otros inconvenientes. Los autos eléctricos no almacenan energía suficiente para recorrer grandes distancias y para recargarlos se requieren varias horas, además presentan un costo inicial tan elevado que es prácticamente una barrera en su comercialización. Por su parte, la producción de biocombustibles con base en diversos cultivos (maíz, soya, trigo, entre otros) compite con el uso del suelo y los recursos hídricos en detrimento de la seguridad alimentaria; además se duda de su capacidad para mitigar las emisiones de CO₂ si se considera su ciclo de vida completo (EPA, 2007; Hélaïne, M'barek, & Gay, 2013; IPCC, 2012; Patzek, y otros, 2005). Por otra parte, la coyuntura actual de precios bajos del petróleo, que comenzó a mediados de 2014, ha impregnado ya su sello en los precios de la gasolina y el diesel¹⁵, lo cual agrega más presiones al sector transporte para continuar con el uso del petróleo como su combustible por excelencia.

El sexto elemento expone las ventajas de los combustibles fósiles en el sector eléctrico. Dadas las características físicas de los recursos fósiles (expuestas en el punto 3), las plantas generadoras fósiles pueden producir electricidad de forma constante, a diferencia de las que se basan en energías renovables, cuya intermitencia las obliga a usar capacidad instalada fósil o nuclear como respaldo. Por otra parte, los costos nivelados de la generación eléctrica son más bajos para las plantas fósiles, y aunque las tendencias han cambiado como resultado de los avances tecnológicos en otro tipo de plantas, hoy día los costos de generación eléctrica más bajos los presentan las tecnologías de ciclo combinado, lo que entrona al gas natural como la opción más rentable. Finalmente, cabe señalar que en la actualidad, la infraestructura eléctrica persistente es en mayor medida fósil, escenario que

¹⁵ En Estados Unidos, por ejemplo, el precio de la gasolina en diciembre de 2014 fue de 2.55 USD/gal, para diciembre de 2015 cayó a 2.04 USD/gal y se pronosticó en 2.03 USD/gal en promedio para 2016; el precio del diesel se promedió en 2.71 USD/gal en 2015 y se estimó en 2.29 USD/gal en 2016 (EIA, 2016b).

no es posible modificar radicalmente en el corto plazo debido a que las inversiones en generación eléctrica son intensivas en capital. Por lo tanto, los proyectos no se pueden retirar hasta que al menos se haya amortizado la inversión inicial, lo cual puede demorar incluso varias décadas.

Finalmente, el número siete expone la inercia del sector energético. En general, las inversiones en dicho sector son muy altas y con una vida útil de largo plazo. La infraestructura no se reemplaza constantemente y la sustitución de las tecnologías energéticas es lenta, incluso aunque haya avances tecnológicos significativos. La inercia señalada es característica del sector eléctrico (ya referido en el punto seis), pero también trastoca otros procesos en la cadena energética. En la transformación de fósiles, por ejemplo, una refinería hoy día puede seguir operando con tecnología de hace veinte años o más. Así, la predominancia de energía fósil no puede disolverse rápidamente, como tampoco los procesos intensivos en el uso de energía y en la generación de emisiones.

Expuesto lo anterior, se evidencia la complejidad para limitar el uso de los combustibles fósiles desde el lado de la oferta de energía. Pese a que se han registrado avances en el uso de otro tipo de energéticos¹⁶, la trayectoria del uso de los fósiles no ha presentado un punto de inflexión que apunte hacia una reducción significativa en la generación de emisiones de bióxido de carbono, lo que se verificará más adelante.

b) Las perspectivas desde el lado de la demanda energética

El consumo de recursos fósiles desde el enfoque de la demanda de energía es impulsado fundamentalmente por la demanda de energía final, la cual está integrada por distintos tipos de energía (carbón, gas L.P., gasolinas, diesel, electricidad, bagazo de caña, combustóleo, etc.) y es demandada por distintos sectores (productivo, residencial, transporte y público). De aquí, es importante destacar que el consumo de energía final no solo se relaciona con el consumo de electricidad, gas o combustibles para el transporte, sino que igualmente se relaciona, entre otros, con el consumo de energía del sector productivo. Por ejemplo, el

¹⁶ Ver, por ejemplo, los reportes anuales de la asociación internacional REN21 (disponibles en <http://www.ren21.net/>), donde se verifican los crecientes montos de inversión y aprovechamiento de energías renovables en el mundo.

sector manufacturero demanda combustibles para generar energía en sus procesos de producción, y también demanda energía final como materia prima para algunas industrias que la transforman en bienes no energéticos (petroquímica, plástico, textil, alimenticia, etc.). Así, por diversos motivos, la energía es uno de los insumos principales en prácticamente todo el sector productivo.

De 1971 a 2013 el consumo de energía final creció 119% (IEA, 2015b), y de acuerdo al escenario central de la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés), se prevé que para 2040 la demanda energética crezca 37% más (IEA, 2014), estimulada, entre otras cosas, por el crecimiento demográfico y el crecimiento económico. En cuanto al crecimiento demográfico, entre 2000 y 2015 se registró un incremento de 1.2 miles de millones de personas a nivel mundial, cifra cuantiosa a pesar de que el crecimiento de la población se ha desacelerado (entre 1965 y 2000, la tasa de crecimiento promedio anual fue de 1.8%; entre 2000 y 2015, dicha tasa disminuyó a 1.2%). En 2015 la población ascendió a 7.3 miles de millones de personas, y las proyecciones para 2040 y 2100 apuntan 9.2 y 11.2 miles de millones de personas, respectivamente, es decir la población crecerá más de 50% entre 2015 y 2100¹⁷ (Naciones Unidas, 2015).

Por su parte, el PIB muestra un dinamismo mayor que la población. De 1965 a 2000, la tasa de crecimiento promedio anual del PIB mundial en paridad del poder adquisitivo (PPA)¹⁸ en dólares de 1990 fue de 3.3%, y para el periodo 2000-2015, de 4% (The Conference Board, 2015). El Banco Mundial augura tasas de crecimiento anual de la economía global entre 2.9 y 3.1% de 2016 a 2018 (WB, 2016). Mientras que las estimaciones de largo plazo sugieren en el escenario de referencia una tasa de crecimiento media anual del PIB mundial PPA en precios de 2005 de 3.5% de 2010 a 2040 (EIA, 2014). De tal modo, el PIB per cápita PPA también registra tasas de crecimiento positivas, las cuales se elevaron en este siglo (pasaron de 1.5% promedio anual entre 1965 y 2000, a

¹⁷ Se usan las proyecciones con fertilidad media.

¹⁸ A lo largo de esta investigación, cuando se hacen comparaciones internacionales o referencias a la economía global, se utiliza el PIB PPA en términos constantes, ya que éste, al eliminar la influencia de los precios y los tipos de cambio, permite una mejor aproximación a la magnitud de las actividades económicas. No obstante, se reconoce un amplio debate económico en torno a la pertinencia y objetividad de dicho indicador, punto que escapa al alcance de este trabajo.

2.7% promedio anual entre 2000 y 2015) y se pronostica continúen aproximadamente en la misma dinámica al menos hasta 2040 (2.6% promedio anual).

El Cuadro 1 resume la trayectoria de los indicadores señalados mediante las tasas de crecimiento de los datos observados 1965-2015 y los proyectados a 2040. El crecimiento del PIB fue mayor que el de la población, por lo que el PIB per cápita reflejó crecimiento económico positivo. Por su parte, el consumo de energía mantuvo un crecimiento significativo en este siglo, tanto en términos absolutos como per cápita, aunque se espera que sea más lento en las próximas décadas.

Cuadro 1. Mundo, 1965-2040: población, PIB y consumo de energía

Indicador / Periodo	Crecimiento promedio anual (%)			Crecimiento total en el periodo (%)		
	1965-2000	2000-2015	2015-2040	1965-2000	2000-2015	2015-2040
Población	1.8	1.2	0.9	84.4	20.0	24.6
PIB*	3.3	4.0	3.5 ^a	203.5	79.0	184.4 ^a
PIB p.c.	1.5	2.7	2.6 ^a	64.6	49.2	115.2 ^a
Consumo de energía final	1.8 ^b	2.1 ^c	1.2 ^d	66.7 ^b	31.3 ^c	37.0 ^d
Consumo de energía final p.c.	0.1 ^b	0.9 ^c	0.3 ^d	2.3 ^b	12.0 ^c	7.4 ^d

*Los datos observados del PIB (1965-2015) utilizan dólares de 1990 convertidos a Geary Khamis PPA; las proyecciones del PIB (2010-2040) utilizan dólares PPA de 2005.

^a Datos 2010-2040. ^b Datos 1971-2000. ^c Datos 2000-2013. ^d Datos 2013-2040.

Elaboración propia con base en datos de EIA (2014), IEA (2015b), Naciones Unidas (2015) y The Conference Board (2015).

De los factores enlistados en el Cuadro 1, se estima que en el presente siglo, el PIB per cápita ha sido y continuará siendo el elemento clave en la generación de emisiones. De acuerdo al último informe del IPCC, de 2001 a 2010 el crecimiento económico (PIB per cápita) fue el factor que más influyó en la crecida de las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles, desplazando al crecimiento demográfico que había sido el más representativo en las dos décadas previas¹⁹ (IPCC, 2014b).

Un elemento característico del tipo de crecimiento económico actual resalta como fuerte impulsor de la generación de emisiones de CO₂: el consumo creciente de bienes y

¹⁹ El IPCC realiza un análisis de descomposición utilizando la Identidad de Kaya, como una aproximación para determinar factores claves en la trayectoria de las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles a nivel global. Sin embargo, el organismo reconoce que esta identidad se basa en indicadores muy amplios y compuestos, que podrían enmascarar diferencias importantes a nivel regional y local. La Identidad de Kaya no explica causalidad y tampoco representa explícitamente estructuras económicas, patrones de comportamiento o factores políticos, elementos distintos entre regiones y países y determinantes en el análisis.

servicios. El incremento del ingreso generalmente se acompaña de cambios en el estilo de vida que afectan la cantidad y la estructura de la demanda de bienes y servicios. La mayor parte de los bienes obedecen a las características de los bienes normales, por lo tanto, si crece el ingreso, crece el consumo. Este crecimiento no es igual para todos los bienes, sino que en la medida en que el ingreso es mayor, se estimulan nuevos consumos no básicos, como manufacturas complejas, autos privados, etc., lo que se conoce como “Ley de Engel”. Así, el crecimiento económico incide en el incremento de la demanda de bienes y servicios finales, que a su vez, influye en el incremento de la demanda energía, la cual tiende a ser más alta si hay mayores proporciones de bienes complejos. Aunado a lo anterior, el preestablecido ciclo de vida cada vez más corto de múltiples bienes de consumo (obsolescencia programada), demanda un reemplazo constante de éstos, y con ellos recursos y energía para su producción.

De tal suerte, la complejidad para reducir el nivel de emisiones de CO₂ desde la demanda de energía, viene dada, al menos en parte, por el tipo de crecimiento económico actual, que promueve un consumo creciente de bienes y servicios. En épocas de magro crecimiento, las emisiones bajan. La crisis de 2007-2009 es una evidencia reciente. El incremento de las emisiones de CO₂ globales por consumo de combustibles fósiles entre 2003 y 2007 fue de 3.8% promedio anual, mientras que entre 2007 y 2009, los años más duros de la crisis, esta tasa se ubicó en -0.8% (Boden, Marland, & Andres, 2016). Así, paradójicamente, en una década con esfuerzos de mitigación importantes, los avances más significativos en la reducción de emisiones no se relacionaron con dichos esfuerzos, sino con la crisis económica, en la que por cierto, los hogares frenaron el gasto en bienes y servicios no solo por la caída de sus ingresos, sino también porque debían pagar deuda, lo que prácticamente no había ocurrido en crisis anteriores.

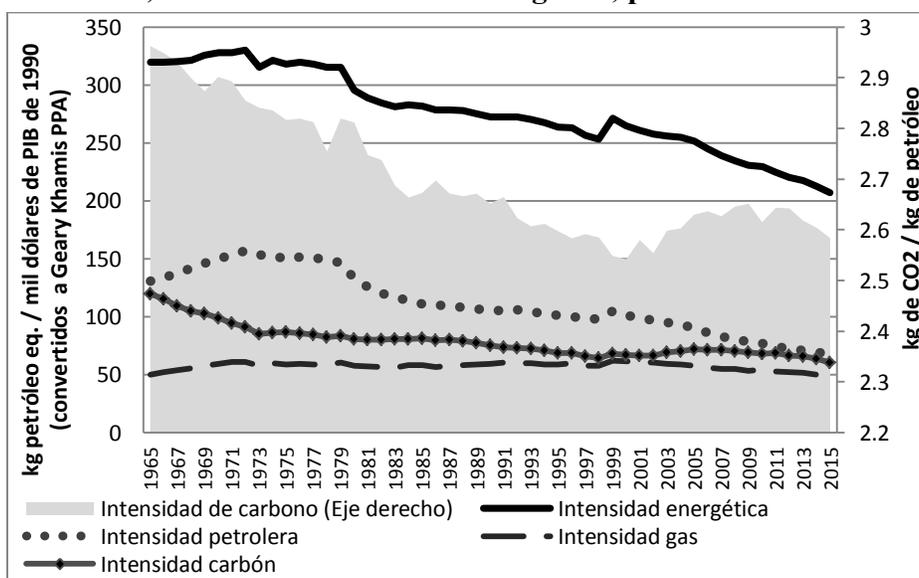
2. La mitigación de emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles

En torno a la mitigación de emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles, hoy día las opciones son diversas (eficiencia energética, aprovechamiento de energías renovables y nuclear para la producción de electricidad, captura y almacenamiento de carbono en plantas eléctricas fósiles, biocombustibles para el transporte, autos eléctricos, entre otras), empero

es posible agruparlas en dos grandes tipos: 1) las que buscan reducir la demanda de energía vía eficiencia energética; y 2) las que buscan reducir las emisiones de CO₂ mediante la sustitución de combustibles fósiles por otro tipo de energéticos y el uso de tecnologías más limpias en el aprovechamiento fósil. El alcance de estos dos tipos de estrategias puede aproximarse, respectivamente, mediante la intensidad energética ($IE = \frac{Energía}{PIB}$) y la intensidad de carbono de la energía ($IC = \frac{CO_2}{Energía}$).

Entre 1965 y 2015, la intensidad energética a nivel mundial (línea continua en la parte superior del Gráfico 2) disminuyó 35.1%, mientras la intensidad de carbono (área sombreada del Gráfico 2) se redujo 12.8%. A *grosso modo* el panorama parecería alentador, sin embargo, aunque en el presente siglo la intensidad energética ha descendido, la intensidad de CO₂ no ha mostrado signos muy favorables, de hecho en los primeros diez años se mostró creciente, y apenas en los últimos años descendió para posicionarse todavía un poco más arriba que al inicio del siglo (+0.1%). Los cambios en la intensidad del uso de cada combustible (líneas en la parte inferior del Gráfico 2) dan pistas para entender estas variaciones, donde los precios han jugado un papel importante, a pesar de que la elasticidad-precio de la demanda fósil es limitada en el corto y mediano plazos.

Gráfico 2. Mundo, 1965-2015: Intensidad energética, por combustible fósil y de CO₂



Elaboración propia con base en datos de BP (2016), Boden, Marland y Andres (2016) y The Conference Board (2015).

Entre 1965 y 1972, la intensidad del uso de carbón había bajado 24%, debido a la sustitución de carbón por petróleo cuando los precios del último fueron bajos. Sin embargo, a raíz de la crisis de precios del petróleo en 1973, la sustitución fue inversa, la intensidad petrolera descendió, mientras el carbón recuperó espacio y su ritmo de cambio a la baja se redujo (ver Cuadro 2).

La caída en la intensidad energética entre 1973 y 1986 (-11.7%) puede ser explicada primordialmente por la caída en la intensidad petrolera, sin dejar de reconocer que también se registraron avances en las intensidades de gas y carbón. Las intensidades de petróleo, gas y carbón redujeron la intensidad energética total en 13.6, 0.4 y 1.7%, respectivamente, mientras que la intensidad en el uso de otras energías la impulsó al alza en 4%. Posteriormente, con la caída en los precios del crudo entre 1986 y 1998, el descenso de la intensidad petrolera se desaceleró; y con precios altos del crudo entre 1999 y 2014, las tasas de cambio a la baja de la intensidad petrolera volvieron a cobrar fuerza (ver Cuadro 2).

Cuadro 2. Mundo, 1965-2015: Intensidad energética, por combustible fósil y de CO₂ (valores promedio y crecimiento)

Indicador / Periodo		1965-1972	1973-1986	1987-2000	2001-2015	1965-2015
Promedio	Intensidad energética ^a	323.9	301.0	268.5	236.1	276.6
	Intensidad petrolera ^a	143.8	134.7	103.7	82.4	112.2
	Intensidad gas ^a	56.3	58.2	59.4	55.2	57.4
	Intensidad carbón ^a	104.6	82.7	71.8	68.0	78.8
	Intensidad de carbono ^b	2.9	2.8	2.6	2.6	2.7
Cambio total en el periodo (%)	Intensidad energética	3.2	-11.7	-4.9	-20.5	-35.1
	Intensidad petrolera	20.4	-28.0	-7.1	-31.3	-47.7
	Intensidad gas	21.7	-2.0	6.8	-19.0	-1.7
	Intensidad carbón	-24.0	-6.3	-16.2	-8.7	-49.6
	Intensidad de carbono	-3.6	-5.1	-4.9	0.1	-12.8
Tasa de crecimiento promedio (%)	Intensidad energética	0.5	-1.2	-0.3	-1.6	-0.8
	Intensidad petrolera	2.7	-2.5	-0.6	-2.6	-1.3
	Intensidad gas	2.9	-0.5	0.6	-1.5	0.0
	Intensidad carbón	-3.8	-0.9	-1.2	-0.7	-1.3
	Intensidad de carbono	-0.5	-0.4	-0.4	0.1	-0.3

^a Kilogramos de petróleo equivalente consumidos por cada mil dólares de PIB de 1990 convertidos a Geary Khamis PPA. ^b Kilogramos de CO₂ por cada kilogramo de petróleo equivalente consumido.

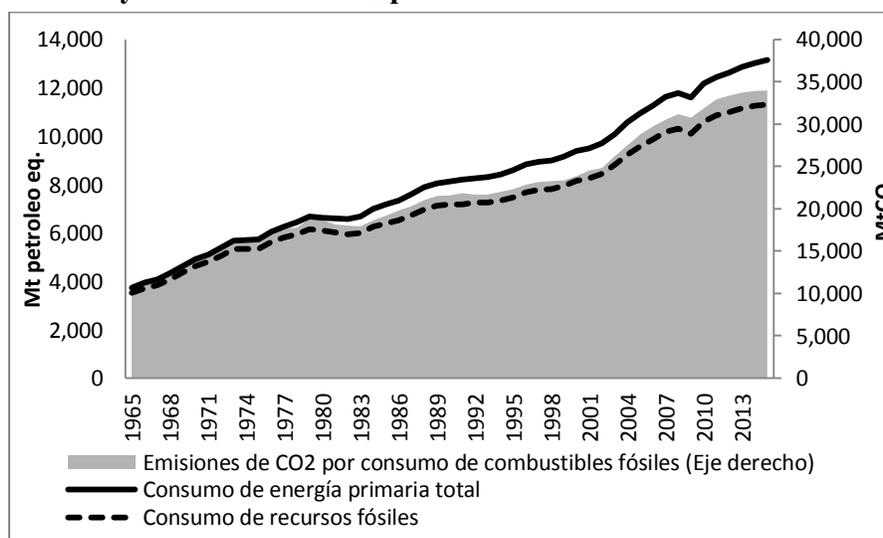
Elaboración propia con base en datos de BP (2016), Boden, Marland y Andres (2016) y The Conference Board (2015).

En contraste, en la primera década del siglo XXI se registró un repunte en la intensidad del uso de carbón, debido principalmente al aumento de su consumo en las economías

emergentes, como China, con carbón abundante y crecimiento económico alto (IPCC, 2014b), efecto que se ha revertido en los últimos años por la desaceleración de estas economías. El incremento en la intensidad de carbón, además de influir sobre la intensidad energética, tuvo una fuerte injerencia en la intensidad de CO₂, ya que el carbón es el combustible más sucio entre los fósiles, provocando de hecho el crecimiento de ésta.

Si bien es cierto que la reducción de la intensidad energética ha contribuido a atenuar el ritmo de crecimiento de la demanda de energía, esta reducción ha resultado insuficiente para compensar los requerimientos energéticos que demanda la economía, como consecuencia, la demanda de energía en valores absolutos ha sido creciente. Por otra parte, el juego entre el uso de uno u otro combustible fósil, pugna más evidente entre el petróleo y el carbón, da cuenta de la dificultad de obtener energía de fuentes distintas a los fósiles, hecho que ha derivado en el incremento de la intensidad de CO₂. En suma, en términos absolutos, la demanda de energía y de recursos fósiles, y la generación de emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles continúan al alza (ver Gráfico 3).

Gráfico 3. Mundo, 1965-2015: Consumo de energía primaria, consumo de recursos fósiles y emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles



Elaboración propia con base en datos de BP (2016) y Boden, Marland y Andres (2016).

Un hecho preocupante es que el ritmo de crecimiento de las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles mostrado en este siglo ha sido mayor que el mostrado en décadas anteriores, a pesar de que en este siglo es cuando se han implementado más políticas de

mitigación. El incremento promedio anual de las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles entre 1965 y 2000 fue de 2.2%, mientras que entre 2000 y 2015 fue de 2.4%. En términos per cápita, el crecimiento promedio de dichas emisiones en el primer periodo fue de 0.5%, y de 1.2% en el segundo (estimaciones con base en datos de Boden, Marland y Andres (2016) y Naciones Unidas (2015)).

Así, la trayectoria futura de las emisiones de CO₂ presenta gran incertidumbre. Para mitigar emisiones, de forma inicial se supone que el mercado, con precios correctos, envía las señales para estimular las inversiones, tanto en proyectos concretos de mitigación, como en actividades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación que contribuyan a ella. Si el mercado no logra estos estímulos, se aboga por la intervención del Estado para hacerlo, e incluso por la intervención de la comunidad internacional. En este paradigma, se considera al financiamiento y el desarrollo tecnológico como los motores fundamentales para conseguir los objetivos de mitigación.

Sin embargo, tanto para el mercado como para el Estado, la mitigación del cambio climático no es la única ni la principal preocupación. En la teoría económica prima la libertad de los mercados, la tasa de ganancia del gran capital continúa en el primer renglón de las preocupaciones políticas, mientras que la seguridad energética se perfila cada vez más como elemento fundamental en la seguridad nacional. Estos y otros aspectos no van necesariamente de la mano de las preocupaciones climáticas, de hecho, es más frecuente que se confronten.

3. Delimitación del tema de investigación

A manera de recapitulación rápida del planteamiento del problema, se tiene que existen dificultades diversas para restringir el uso de los recursos fósiles en el sistema energético y, dado que éste se encuentra ligado a una amplia cadena de actividades, hay un continuo incremento de las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles, trayectoria que las estrategias de mitigación del cambio climático no han logrado revertir.

La preocupación por la trayectoria de las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles indujo a la búsqueda de alternativas para hacer frente al problema

climático. En particular, se observó que hasta ahora el análisis económico del cambio climático se ha centrado principalmente del lado de la oferta (sistemas de producción) y muy poco del lado de la demanda (sistemas de consumo). En términos prácticos, la ausencia de investigación del fenómeno climático desde la perspectiva de la demanda ha llevado a que las estrategias de mitigación se ejerzan primordialmente desde la oferta y no presten mucha atención al margen de acción que podrían jugar los consumidores de bienes y servicios finales de acuerdo a sus patrones de gasto.

En este tenor, en el presente trabajo se explora la demanda de bienes y servicios finales por niveles de ingreso, como posible determinante de la trayectoria de las emisiones de CO₂ y, por ende, como posible foco de atención para complementar las estrategias y políticas de mitigación del cambio climático. Para limitar el problema de estudio, únicamente se consideraron la demanda de los hogares²⁰ y las emisiones de bióxido de carbono (el gas de efecto invernadero más abundante y con una vida de largo plazo en la atmósfera). De las emisiones de CO₂, se analizaron fundamentalmente las derivadas del consumo de combustibles fósiles. La acotación a las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles obedece al gran peso relativo de éstas en las emisiones de gases de efecto invernadero totales, así como a la disponibilidad de información.

La definición espacio-tiempo es México en el periodo 1990-2014. Se eligió solo un país con el fin de aterrizar el análisis del gasto de los hogares en un espacio limitado, sin perder de vista que el cambio climático es un problema global, aunque con trayectorias que se analizan nacionalmente y con efectos locales diferenciados. Estudios y diagnósticos de tipo local, regional o nacional pueden arrojar resultados interesantes para el tratamiento del cambio climático, que incluso podrían servir como blanco desde otros puntos geográficos. La selección del espacio obedece fundamentalmente dos factores: interés natural de estudiarlo por ser el país de origen de quien realiza la investigación y en el que ésta se efectúa; y examinar si en un país en desarrollo, con múltiples carencias, es viable centrar los esfuerzos de mitigación en los patrones de gasto.

²⁰ La demanda final total de una economía se compone del consumo de los hogares, la inversión, el gasto de gobierno y las exportaciones netas ($PIB = C + I + G + XN$).

En la definición del periodo de estudio se consideró, en primera instancia, que idealmente un análisis de este tipo debería cubrir un periodo de estudio largo, ya que a pesar de que el cambio climático es un fenómeno que cobró atención a partir de la década de los años noventa, realmente se trata de un fenómeno de largo plazo. Por tal motivo, tanto en el planteamiento del problema como el Capítulo 2 se incluyen datos para el periodo 1965-2015, que aportan un marco de referencia amplio. Sin embargo, para el análisis empírico principal que se presenta en el Capítulo 3, la disponibilidad de información limitó el periodo de estudio a 1990-2014. Así, el título de esta investigación, la hipótesis y el objetivo general se acotan a este último periodo, pues en éste se analiza puntualmente la relación entre la demanda de los hogares por nivel de ingresos y el cambio climático.

La idea que subyace en esta investigación, y que para el caso de México está muy poco estudiada, es que en el sistema económico vigente, el crecimiento económico (incluso bajo) genera un incremento en el ingreso de los hogares, lo cual estimula una demanda creciente de bienes y servicios finales en cualquier estrato económico²¹, así como cambios en su estructura que la hacen más compleja, lo que conjugado con el crecimiento demográfico da lugar a una demanda de bienes y servicios de los hogares muy amplia, principalmente de los estratos con ingresos altos. Esta demanda reclama el uso de una gran cantidad de insumos, entre ellos energía, vinculada con fuerza al uso de combustibles fósiles. De tal modo, la demanda alta y creciente dificulta que las estrategias de mitigación actuales logren reducir significativamente el uso de estos insumos y, por lo tanto, la demanda contribuye a la emisión de CO₂ y al cambio climático. El Esquema 3 muestra de manera simple estas conexiones.

Esquema 3. La demanda de bienes y servicios de los hogares y el cambio climático



Elaboración propia.

²¹ Aunque no hay una relación estrictamente proporcional entre el crecimiento económico, el crecimiento del ingreso de los hogares y el crecimiento de la demanda de bienes y servicios finales, sí hay una relación estrecha entre estas tres variables, que se explica por el conocido flujo circular de la economía.

Es importante acotar que para efectos de este trabajo, de aquí en adelante, cada vez que se refiera a “la perspectiva de la demanda”, “el lado de la demanda”, o simplemente “la demanda”, se refiere a la demanda de bienes y servicios de los hogares (a menos que se especifique otra cosa); asimismo, “los patrones de gasto”, “el gasto”, “el consumo” y “el consumidor” se asocian al sector de los hogares. Y cuando se refiera a “la perspectiva de la oferta”, “el lado de la oferta” o “la oferta”, se refiere a las actividades de los sistemas de producción (a menos que se especifique otra cosa).

En suma, el avance del cambio climático global y las carencias de investigación y de estrategias de mitigación desde el lado de la demanda, son los principales elementos que justifican la pertinencia de la presente investigación, cuya **hipótesis** a mostrar para el caso de México entre 1990 y 2014 es que existe una relación directa entre la demanda de bienes y servicios de los hogares por nivel de ingresos y la generación de emisiones de CO₂, por lo que los hogares con mayores ingresos inducen en mayor medida la emisión de CO₂, tanto de forma directa (emisiones de CO₂ generadas por consumo de energía) como indirecta (emisiones de CO₂ incorporadas en bienes y servicios).

El **objetivo general** es analizar la relación entre la demanda de bienes y servicios de los hogares por nivel de ingresos en México de 1990 a 2014 y la trayectoria de las emisiones de CO₂. Mientras que los **objetivos particulares** son: i) examinar críticamente las formas en las que la ciencia económica estudia las causas y la mitigación del cambio climático y determinar si existen aproximaciones de estudio desde el lado de la demanda; ii) analizar los alcances de las estrategias de mitigación del cambio climático implementadas en México sobre las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles; y iii) estudiar cuantitativamente la estructura y la dinámica de la demanda de bienes y servicios de los hogares por nivel de ingreso en México de 1990 a 2014 y su relación con la generación de emisiones de CO₂ basadas en consumo (directas e indirectas).

Las principales **preguntas de investigación** que pretende responder este trabajo son: i) ¿qué alternativas teóricas o herramientas analíticas en el campo de la ciencia económica existen para estudiar la relación del nivel de ingreso y los patrones de gasto de los hogares con el cambio climático?; ii) ¿qué alcances han tenido las estrategias de

mitigación del cambio climático implementadas en México sobre las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles que el país genera?; iii) ¿qué cantidad de emisiones de CO₂ se relacionan con la demanda de bienes y servicios de los hogares en México de 1990 a 2014?; iv) ¿existen diferencias en la cantidad de emisiones de CO₂ asociadas con el gasto de los hogares entre niveles de ingreso?; y v) ¿qué papel juega la estructura de la demanda y su intensidad de CO₂ en el total de las emisiones de CO₂ derivadas del gasto de los hogares por nivel de ingreso?

Una vez expuestos los puntos clave de la investigación, es importante explicitar que esta tesis no tiene como objetivo diseñar políticas públicas de mitigación ni realizar proyecciones futuras de emisiones de CO₂. Ya que el análisis de cambio climático en México desde el lado de la demanda es prácticamente nuevo, se consideró primordial reflexionar cuidadosamente las conexiones entre los patrones de gasto por niveles de ingreso y el cambio climático y buscar opciones para la medición de éstas que permitieran ubicar a las actividades y los actores de consumo más relevantes en la emisión de CO₂, antes que lanzar propuestas de política pública o proyecciones con elementos insuficientes para sostenerlas.

4. Estructura del trabajo y metodología

La investigación se divide en tres capítulos, cuyo contenido y metodología se esboza brevemente a continuación.

Capítulo 1: El estudio del cambio climático en la economía

Previo al análisis empírico que sugiere esta investigación, se estimó prudente hacer una exploración a nivel teórico sobre cómo la ciencia económica ha estudiado el cambio climático y determinar si en tal ejercicio ha considerado el tema de la demanda de los hogares. Para ello, en primer lugar, se estudia la relación entre la economía y la naturaleza, como el espectro más amplio del interés de esta investigación. Posteriormente, se focaliza el tema del cambio climático y se discute el enfoque convencional que ha dominado en su estudio. Identificadas ciertas carencias en este enfoque, se examinan dos perspectivas alternativas que resaltan la importancia de la demanda y la desigualdad, sobre las cuales se

hace una revisión general del estado del arte: 1) la responsabilidad de las emisiones de CO₂ puede ser asignada al consumidor final mediante el uso de los inventarios de emisiones basados en consumo; 2) la emisión de CO₂ basada en consumo al interior de un país es heterogénea entre hogares (o individuos) y las diferencias podrían estar altamente relacionadas con los niveles de ingreso y los patrones de gasto. Finalmente, la misma revisión se hace para el caso de México, con el fin de cotejar los avances y las necesidades de investigación desde estas perspectivas alternativas.

Capítulo 2: Las estrategias de mitigación en México y la trayectoria de las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles

En este capítulo se analizan las diversas opciones de mitigación implementadas en México sobre las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles y se aproximan sus alcances. Para este análisis, se utilizan los datos del INEGyCEI (INECC-SEMARNAT, 2018), ya que se considera que las estrategias implementadas se centran en las emisiones que se generan dentro del país (ya sean del sector productivo, la producción de energía, el consumo energético directo en los hogares, el sector público o el transporte), y por lo tanto su incidencia debe ser valorada en torno a la contabilidad territorial. La idea primordial es resaltar que en el país sí se han establecido algunas políticas para mitigar el cambio climático, empero, persiste una tendencia al alza de las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles.

Capítulo 3: La demanda de bienes y servicios de los hogares y las emisiones de CO₂ en México entre 1990 y 2014

En el tercer capítulo se analiza cuantitativamente la demanda de bienes y servicios de los hogares según nivel de ingreso en México de 1990 a 2014 y su relación con la trayectoria de las emisiones de CO₂ basadas en consumo mediante dos metodologías:

1. Un análisis ascendente (*bottom-up*) para el año 2012 que sigue la metodología de Golley y Meng (2012). Aquí se utilizó el análisis I-P con información del gasto de los hogares y las emisiones de CO₂ a nivel sectorial con el fin de determinar las emisiones de CO₂ de los hogares por nivel de ingresos. Las fuentes de información primordiales fueron: la ENIGH 2012 (INEGI, 2013), la

MIP 2012 (INEGI, 2014b), el INEGyCEI 2012 (INECC-SEMARNAT, 2018) y el SIE (2018).

2. Un análisis descendente (*top-down*) para el periodo 1990-2014 que sigue la metodología de Chancel y Piketty (2015). En éste se aplicó un modelo de elasticidad gasto-emisiones de CO₂ para atribuir emisiones de CO₂ a los hogares por nivel de ingreso. Los principales datos utilizados fueron la ENIGH (INEGI, varios años), el inventario de emisiones de CO₂ con base en consumo del CDIAC (actualización de (Peters, Minx, Weber, & Edenhofer, 2011)) y el valor de la elasticidad gasto- emisiones de CO₂ que fue estimado con la metodología ascendente previa.

Con los análisis cuantitativos ascendente y descendente se encontró una relación directa entre el gasto de los hogares por nivel de ingresos y las emisiones de CO₂ y, por lo tanto, una gran desigualdad en la generación de emisiones de CO₂ entre hogares ricos y pobres.

1. EL ESTUDIO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ECONOMÍA

1.1. Introducción

El objetivo primordial de este primer capítulo es examinar, desde la perspectiva de la ciencia económica, la interrelación que sugiere la hipótesis de esta tesis entre la demanda de bienes y servicios de los hogares por nivel de ingresos y la trayectoria de las emisiones de CO₂. Ya que la interrelación sugerida es relativamente poco estudiada, el capítulo comienza con una revisión general de la relación entre la economía y la naturaleza, para posteriormente centrarse en los tópicos de interés.

Inicialmente, en las secciones 1.2 y 1.3 se abordan de manera general los temas de crecimiento económico y medio ambiente dentro de la ciencia económica, como el espectro más amplio de los temas particulares de estudio de esta tesis. En la sección 1.2 se hace una muy breve revisión de cómo las principales corrientes económicas —clásicos, neoclásicos y keynesianos— han estudiado el crecimiento económico, con la intención de analizar si se han planteado, directa o indirectamente, la existencia de un vínculo entre el crecimiento económico y el medio ambiente. En la sección 1.3 se examinan las sub-disciplinas económicas que explícitamente integran en sus análisis al medio ambiente: economía de los recursos naturales, economía ambiental y economía ecológica, así como otras visiones heterodoxas.

Posteriormente, en la sección 1.4, se examina específicamente cómo la economía ha abordado el problema del cambio climático. Se enfatiza la prevalencia del “enfoque convencional” centrado en la oferta, que rige la mayoría de las investigaciones y estrategias de mitigación. Asimismo, se identifican “enfoques alternativos” que estudian el cambio climático desde la demanda e incluyen en sus análisis la trascendencia de los patrones de gasto y los niveles de ingresos, tanto a nivel internacional como al interior de los países.

En la sección 1.5 se hace una revisión de los avances para el caso de México en torno al estudio del cambio climático desde las perspectivas alternativas ubicadas. Esta revisión se hace con el fin de evitar duplicar esfuerzos en dicho estudio y ubicar carencias

de investigación, parte de las cuales tratarán de subsanarse en el análisis empírico de esta investigación. Finalmente, en las conclusiones se sintetizan los puntos más relevantes.

1.2. La teoría económica y el medio ambiente

En la teoría económica, el interés por los recursos naturales y el medio ambiente no siempre ha ocupado el mismo nivel de importancia, y de hecho, la mayor parte del tiempo ha sido un elemento ausente, a pesar de que la primera escuela económica moderna mostró un gran interés sobre los posibles limitantes del medio físico al crecimiento económico.

1.2.1. La economía clásica

Para los economistas clásicos, el medio ambiente imponía límites a la expansión de la actividad económica, principalmente la escasez de la tierra, lo que conjugado con el incremento de la población, restringía las posibilidades de mejorar los niveles de vida en el largo plazo. Tal visión, instó a calificar a la economía clásica como la ciencia lúgubre²², aunque, como se verá a continuación, la visión de Adam Smith, uno de los principales exponentes de esta corriente, escapa a esta calificación y constituye las bases del pensamiento económico más optimista que se desarrollaría posteriormente.

“Una investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones” (Smith A. , 1776), libro considerado como el primero de la economía moderna y que marcó el nacimiento de la economía clásica, formuló, entre otras cosas, la idea de que la riqueza de un país depende de su trabajo y de su tierra, y que el ahorro es el elemento clave en el crecimiento económico; asimismo, sentenció que el crecimiento puede ser potenciado por la división del trabajo y el comercio internacional. Ya en la época de Smith, el mecanicismo²³ era una concepción dominante, producto de una revolución en el pensamiento de la época, que impresionado por los progresos en la física, buscó constantemente analogías con ésta. En economía, el mecanismo que se estableció fue que la búsqueda del bienestar individual conduciría al bienestar común. Así, se concluyó que dejar

²² “La ciencia lúgubre” es un término acuñado por Thomas Carlyle (1849), quien refirió a la economía como una ciencia triste, árida, vil y penosa.

²³ La idea de que el mundo funciona como una máquina.

actuar a los individuos de acuerdo a sus propios intereses egoístas era el mejor camino para lograr el bienestar social, de ahí, las nociones de la “mano invisible” y el *laissez faire*. En este contexto, la función del Estado debería limitarse a proteger el orden, los derechos individuales, etc.

Entre los economistas clásicos “más lúgubres”, Robert Malthus destacó por su conocido “Ensayo sobre el principio de la población” (Malthus, 1798), en el que el crecimiento económico depende de los recursos naturales y del trabajo. Concretamente, Malthus señaló que la cantidad de tierra es un factor fijo y la población es continuamente creciente, por lo que el proceso de crecimiento económico acabaría y la economía se estancaría debido a la escasez de alimentos para la población (frenos positivos). La población, si no encuentra obstáculos, crece geométricamente, mientras que los alimentos, en el mejor de los casos, aritméticamente. Los “frenos positivos” son un camino al equilibrio mediante epidemias, hambre, guerras, que provocan la muerte (idealmente de los pobres) y con ello la reducción de la población. Para evitar llegar a estas catástrofes, Malthus defendió los “frenos preventivos”, como la abstinencia sexual.

Por su parte, en el pensamiento de David Ricardo es clara la importancia de la tierra y su escasez (en términos de fertilidad) como determinante económico. Ricardo distinguió la aparición de la renta de la tierra cuando es imprescindible cultivar terrenos de calidad inferior o mal situados, como consecuencia de la escasez de tierra fértil o de un incremento de la población. En condiciones desfavorables, se necesita mayor cantidad de trabajo para lograr la producción, por lo tanto los costos de producción son mayores, y ya que el precio de los productos se determina por el costo más elevado, los precios de los productos agrícolas tienden a subir, así como la renta de las tierras más fértiles. Entonces, el valor de cambio de las mercancías depende de la cantidad de trabajo necesaria para su producción y al mismo tiempo de la escasez. Así, la renta de la tierra ocurre por la ley de los rendimientos no proporcionales: si a una cantidad fija de tierra se agregan dosis sucesivas de mano de obra y capital, en un principio el rendimiento será más que proporcional; después proporcional, y por último menos que proporcional (Ricardo, 1817).

Pero el planteamiento de Ricardo no solo incluyó a la agricultura, sino que realizó un modelo de dos sectores, en el que la industria, a diferencia de la agricultura, presenta incrementos en la productividad como resultado de la incorporación de maquinaria en el proceso productivo. En este punto, Ricardo se distingue de Smith al otorgar mayor peso al desarrollo tecnológico que a la especialización como fuente de productividad. Y aunque su planteamiento era menos pesimista que el de Malthus, igualmente apunta una tendencia al estancamiento. Dados los rendimientos decrecientes en el sector agrícola y la creciente demanda de alimentos, sobre todo en las urbes, los alimentos se encarecen, lo que repercute en el valor-trabajo, pues se encarece la canasta básica (salario de subsistencia). El incremento del valor-trabajo provoca la caída de la tasa de beneficio y por lo tanto merma la capacidad de ahorro, lo que en última instancia frena la acumulación de capital y el crecimiento económico. En sentido opuesto a la caída de los beneficios, aumentan las rentas, pero los rentistas no invierten ni generan empleos, es decir no son actores dinámicos en el crecimiento económico, por lo que se les considera como la clase estéril. Para evitar el estancamiento (al menos temporalmente), Ricardo argumentó, mediante su teoría de las ventajas comparativas, las bondades del comercio internacional.

Al paso del tiempo, los pronósticos lúgubres de la economía clásica se mostraron errados, no se verificaron las catástrofes malthustianas y el estancamiento del que hablaba Ricardo se evitó más por el desarrollo tecnológico que por el comercio internacional. El descubrimiento de nuevas fuentes de energía, el progreso técnico, vastas sumas de capital para invertir, nuevas formas de producción, entre muchos otros factores transformaron profundamente a la economía mundial. En el pensamiento económico, la preocupación por el medio ambiente y su interacción con los procesos económicos quedó atrás, lo que dio lugar a la economía neoclásica, el *mainstream* económico aún vigente.

1.2.2. La economía neoclásica

Generalmente, la década de 1870's se toma como punto de partida de la teoría marginalista, que algunos asocian directamente con el nacimiento de la economía neoclásica, aunque otros prefieren marcar el comienzo de ésta en 1890, con los "Principios de Economía" de Marshall. Sin entrar en esta discusión, aquí se exponen las principales características de

esta nueva visión en torno a la concepción de la naturaleza, cuyas raíces fundamentales se encuentran en el marginalismo. En palabras breves, en la economía neoclásica el progreso tecnológico consolida un papel central en el desempeño de la economía, capaz de desvanecer los límites físicos previamente apuntados por los clásicos, lo que junto con un mercado eficiente, abre paso a la idea de un crecimiento económico prácticamente irrestricto.

Con la teoría marginalista, afianzada a partir de las publicaciones de Walras, Jevons y Menger, se amplió el uso del instrumental matemático, se desarrolló la noción de margen y la teoría de la utilidad. El objeto de estudio de la economía se limitó a lo apropiable y valorable, a aquello que pudiera ser objeto de intercambio comercial; mientras que el problema del crecimiento económico a largo plazo se ciñó a la asignación eficiente de recursos en un marco estático. Al tomar como modelo a seguir a la física newtoniana (un mundo de equilibrio, determinista, sin fricciones y con completa reversibilidad para todo tipo de acontecimientos) hay una confianza total en la capacidad de la tecnología para permitir la plena sustituibilidad de factores y materiales (Ramos Gorostiza, 2005).

La definición sistematizada de “riqueza social” de Walras (1874), nos brinda una idea de la limitación del análisis económico en el que prácticamente no cabe la naturaleza. Para Walras, la riqueza social es el conjunto de cosas materiales o inmateriales que son escasas, es decir, que por una parte son útiles, y por otra, existen en cantidades limitadas. En cuanto a la utilidad no es necesario preocuparse por los matices entre útil, agradable, necesario o superfluo, es simplemente útil. Es indiferente —para la economía— la moralidad o inmoralidad a la que responda la cosa útil. En cuanto a las cantidades limitadas, si las cosas se encuentran en tal cantidad que a nadie pueden faltarle, no forman parte de la riqueza social, incluso aunque sean útiles; solo excepcionalmente pueden escasear, y a partir de ello, formar parte de ésta.

La escasez de las cosas tiene tres consecuencias, las cosas útiles y limitadas en su cantidad son: 1) apropiables; 2) valiosas e intercambiables; 3) industrialmente producibles o multiplicables (*Ibídem*). Las dificultades para considerar a los bienes y servicios naturales dentro de la riqueza social son varias, por ejemplo, que la mayor parte de los recursos

naturales o servicios ambientales son abundantes (o eran); o que las dos primeras consecuencias de la escasez a las que refiere Walras no siempre se pueden aplicar a todos los recursos naturales y aún menos a los servicios ambientales; o que la tercera consecuencia de la escasez es prácticamente impensable para los bienes y servicios naturales.

Es clara entonces, la exclusión de la naturaleza del campo de estudio de la economía. Como lo menciona Blaug (1962):

Después de 1870, los economistas postularon cierta oferta dada de los factores productivos, determinada en forma independiente por algunos elementos situados fuera del campo de análisis. La esencia del problema económico era la búsqueda de las condiciones bajo las cuales se distribuyeran los servicios productivos dados entre usos competitivos con resultados óptimos, en el sentido de la maximización de la satisfacción de los consumidores. Esto eliminaba la consideración de los efectos de incrementos en la cantidad y calidad de los recursos y de la expansión dinámica de las necesidades, cuyos efectos habían sido considerados por los economistas clásicos como la condición *sine qua non* de los incrementos del bienestar económico (p.375).

La omisión de límites físicos en la actividad económica, responde al hecho de que la asignación eficiente, el mejor uso de los “recursos dados” entre diversos usos alternativos, implica un principio de conservación. Esta idea condujo a la economía a concebir el proceso económico como un ciclo cerrado, un flujo circular, lo cual de ninguna forma marca un límite impuesto por medios físicos, la limitación está determinada por el estado de la técnica. En este enfoque *tecnocentrista*, el ser humano impone su dominio sobre la naturaleza, confiando para ello en el desarrollo tecnológico (Foladori, 2005a). La eliminación o neutralización de los límites físicos, conjugada con la relevancia que cobra el capital como factor productivo, llevó a la economía neoclásica a tratar a los recursos naturales como capital, de hecho se rompió el trato que los clásicos daban a la tierra como factor productivo, ahora la tierra y otros recursos naturales (en caso de considerarlos necesarios en el análisis) caben en una noción genérica, capital. En consecuencia, no se considera la capacidad o incapacidad de renovación de los recursos en cuestión, pues se asume que la tecnología permite perfecta sustituibilidad material y factorial.

Con la asignación eficiente, la analogía mecánica alcanzó su máxima expresión. La economía buscó ser análoga a la física y descansar en el principio de universalidad²⁴, igual que la mecánica de la época. La ciencia económica precisó principios elementales, intuitivamente obvios, sobre los cuales construir deductivamente con alto nivel de formalización y con carácter universal. Así, el *homo economicus* encajó en esta razón mecánica, llevando a concebir un subsistema social autónomo en el que los individuos se mueven como robots empujados por fuerzas económicas, cuyos impulsos se suman en el sistema capitalista (Naredo, 1987). El *homo economicus* es un ser racional que busca maximizar su satisfacción, la cual, de acuerdo a la teoría estándar, se determina por la cantidad de bienes y servicios de los que puede disfrutar personalmente un individuo (Georgescu-Roegen, 1971). Las decisiones individuales de firmas y hogares se comunican, coordinan y hacen consistentes mediante los precios determinados por la oferta y la demanda en el mercado.

En suma, la visión neoclásica en la que el comportamiento maximizador de los individuos (consumidores y productores) conduce a una asignación eficiente y a una situación óptima, en virtud de la existencia del principio de equimarginalidad, reforzó, desde la ciencia económica, la concepción mecanicista y optimista del mundo que se estuvo gestando desde la Ilustración. Con los logros de la ciencia experimental y los avances tecnológicos, primó el racionalismo, la lógica de las matemáticas, el mecanicismo, el antropocentrismo y la creencia de que la humanidad mejora en todo a lo largo del tiempo.

Bajo el esquema descrito, las teorías de crecimiento neoclásicas obviamente son coherentes con este mundo idealizado. El modelo de crecimiento económico neoclásico más representativo, el modelo de Solow-Swan (Solow, 1956; Swan, 1956), atribuye efectos positivos a la acumulación de capital, el cual presenta rendimientos decrecientes que con el paso del tiempo conducen al crecimiento de estado estacionario. Cuando el modelo recibió

²⁴ La universalidad de la mecánica del siglo XIX se atribuyó a categorías intuitivas como espacio, fuerza y tiempo. Las elaboraciones de la física moderna han destruido la universalidad y la aparente precisión e independencia de las nociones de materia y fuerza, así como las de espacio y tiempo (Naredo, 1987). Paradójicamente, a finales del siglo XIX, cuando empezaba a resquebrajarse la construcción newtoniana, fue cuando la analogía mecánica se consolidó entre los economistas, aunque poco a poco fueron desapareciendo las referencias explícitas a ésta (Cuerdo Mir & Ramos Gorostiza, 2000).

críticas porque empíricamente no se probó la existencia de un estado estacionario, Solow (1957) incorporó en su función de producción original al progreso tecnológico, el elemento exógeno capaz de llevar a la economía de un estado estacionario a otro más alto, reforzando así, el ya robusto papel del progreso técnico. Surgieron después otros modelos de tipo endógeno, donde el progreso técnico continuó como centro del crecimiento económico, pero en este caso se consideró que el avance técnico se gestaba al interior de la misma economía. De cualquier modo, ya en modelos de crecimiento exógenos o endógenos, prácticamente no hay factores que puedan limitar el crecimiento.

1.2.3. La economía keynesiana

La crisis económica mundial de 1929 dio paso a una nueva corriente teórica a partir de la obra de Keynes, que alcanzaría su punto de mayor influencia después de la segunda guerra mundial. Para reactivar el crecimiento económico y reducir el grave problema del desempleo que enfrentaba la sociedad como consecuencia de la crisis, la propuesta keynesiana se centró en la demanda.

Los keynesianos refutaron la Ley de Say²⁵ y promovieron la demanda efectiva, con lo que el consumo, la inversión y el gasto público, se convirtieron en los motores del crecimiento. La teoría keynesiana fundó el concepto del “multiplicador”, según el cual los efectos benéficos del gasto sobre el ingreso son más que proporcionales; mientras mayor sea la propensión a consumir, mayor será el efecto del incremento del gasto sobre el ingreso (Keynes, 1936). El multiplicador keynesiano fue retomado incluso para mostrar los efectos positivos del aumento de la demanda sobre la distribución de los ingresos en la economía (Kaldor, 1979). Aunque la teoría keynesiana representó cambios respecto a la teoría neoclásica dominante²⁶, con relación a la influencia o restricción del ambiente natural sobre la actividad económica, no se advierte cambio alguno y persiste la separación economía y naturaleza.

²⁵ La oferta crea su propia demanda.

²⁶ Posteriormente, la teoría neoclásica y la keynesiana tienden a fusionarse como el nuevo paradigma ortodoxo: la síntesis neoclásica o neokeynesianismo.

No se perciben posibles limitantes al crecimiento, de hecho es interesante notar en el pensamiento de Keynes un gran optimismo hacia el futuro, donde se alcanzaría un punto de tal afluencia, que las aspiraciones humanas dejarían de centrarse en lo económico y material. A pesar de encontrarse en plena crisis mundial, Keynes confiaba en el progreso tecnológico y en las bondades del interés compuesto²⁷, de tal modo que pronosticó que el ingreso per cápita en los países desarrollados aumentaría entre cuatro y ocho veces entre 1930 y 2030, y que habría una reducción sustancial en la jornada laboral, se trabajaría aproximadamente tres horas diarias. En 2030, los problemas de subsistencia estarían resueltos y las personas entonces se dedicarían a disfrutar de los placeres de la vida, pues alcanzarían un límite en sus ambiciones materiales (Keynes, 1930).

Un efecto indirecto de la corriente económica keynesiana que consumó la separación economía-naturaleza (a nivel macro), fue el nacimiento de la Contabilidad Nacional, que en parte surgió como respuesta a la necesidad de los gobiernos de tener información macroeconómica para poder intervenir en la economía, y que solo contabiliza los valores monetarios de objetos apropiables, valorables y producibles. Así, la venta de minerales no renovables que pueden estar extinguiendo las reservas, la erosión del suelo por prácticas agrícolas degradantes, las actividades económicas que contaminan agua, suelo o atmósfera, todas ellas pueden ser registradas con signos positivos en la contabilidad económica, perdiendo de vista que no todos los procesos económicos pueden ser recomenzados a partir del dinero (Foladori, 2005b).

1.3. Las sub-disciplinas económicas con enfoque ambiental

La crisis de los precios del petróleo en la década de 1970's, es tal vez el acontecimiento por el que la economía vuelve obligadamente la mirada a la naturaleza. Aunque antes de ello se desarrollaron algunos trabajos económicos interesados en el entorno y los recursos naturales, es aproximadamente en esta década que comienzan a robustecerse estos análisis. Al paso del tiempo, la importancia de los recursos naturales y el medio ambiente para la

²⁷ Las bondades del interés compuesto son apuntadas por Keynes desde sus primeros escritos. Soddy (1922) hace una crítica a Keynes por considerar que la riqueza, y no la deuda, aumenta según la ley del interés compuesto: no es posible emparejar permanentemente una convención humana absurda, tal como el incremento espontáneo de la deuda, con la ley natural de decremento espontáneo de la riqueza.

ciencia económica se ha hecho cada vez más evidente, por lo que han surgido de forma explícita algunas sub-disciplinas para analizarla: la economía de los recursos naturales, la economía ambiental y la economía ecológica. Aunque las fronteras entre cada una de ellas no están rigurosamente limitadas y frecuentemente se conectan sus temas de estudio, se sirven de metodologías similares u otras coincidencias, en esta sección se realiza un esfuerzo por resaltar las ideas fundamentales de cada una.

1.3.1. Las opciones neoclásicas: economía de los recursos naturales y economía ambiental

El tema ambiental comienza a insertarse concretamente en la teoría económica neoclásica a través de dos sub-disciplinas: la economía de los recursos naturales y la economía ambiental. La primera estudia, principalmente, lo que la economía extrae del medio ambiente y los problemas asociados con el uso de recursos naturales. La segunda se ocupa, principalmente, de lo que la actividad económica vierte en el medio ambiente, como la contaminación ambiental (Common & Stagl, 2008).

1.3.1.1. Economía de los recursos naturales

Los orígenes de la economía de los recursos naturales datan de fines del siglo XIX, aunque no es sino a partir del estudio de Hotelling, en 1931, que este desarrollo teórico se consolida. La “regla de Hotelling”, conocida como la ecuación fundamental de la economía de los recursos naturales agotables, establece que la tasa óptima de extracción de un recurso natural no renovable es aquella en la cual la tasa de aumento del precio del recurso es igual que la tasa de descuento de la sociedad $\left(\frac{p_{t+1}-p_t}{p_t} = \delta\right)$, lo que genera indiferencia entre la extracción en el periodo t o en $t + 1$. En los años 50’s se retoma este desarrollo e igualmente se analizan la pesca y los bosques, lo que conduce a Colin Clark a definir la ecuación fundamental de los recursos naturales renovables y a generalizar de manera formal la regla de Hotelling (Pérez Espejo, Ávila Foucat, & Aguilar Ibarra, 2010).

En el caso de los recursos agotables, la complejidad para definir una senda de extracción óptima va desde la cantidad de información necesaria, hasta la constante incertidumbre sobre la aparición de bienes sustitutos, nuevas tecnologías y nuevos

yacimientos. En los recursos renovables, la optimización depende de variables como la tasa de crecimiento intrínseco del recurso y la capacidad de carga medioambiental, que determinan el rendimiento máximo sostenible (RMS), es decir la cantidad extraída que permite regenerar el recurso en un periodo determinado; cuando la extracción sobrepasa el RMS, el recurso tiende a la extinción.

Por otra parte, la denominada “regla de Hartwick” definió la sustentabilidad como la inversión neta total de cualquier tipo de capital (artificial o natural) que se mantuviera igual o mayor a cero a lo largo del tiempo, lo que se conoce como “sustentabilidad débil”. En una economía Cobb-Douglas²⁸, invertir las ganancias de los recursos agotables en capital reproducible, como maquinaria, bajo los supuestos de población constante y sin depreciación del capital reproducible, permiten que el consumo per cápita sea constante a través del tiempo, es decir se logra la equidad intergeneracional (Hartwick, 1977). Posteriormente la regla de Hartwick fue modificada para proponer que la inversión neta de capital natural debe ser estrictamente positiva (“sustentabilidad fuerte”), es decir, que el capital natural es insustituible (Pérez Espejo, Ávila Foucat, & Aguilar Ibarra, 2010). La sustentabilidad fuerte ha sido menos abordada desde la economía de los recursos naturales y se acerca más a la economía ecológica. Entre sustentabilidad fuerte y débil, el debate alcanza puntos álgidos en cuestiones como la tasa de sustituibilidad de los recursos y la medición de la utilidad en las generaciones futuras.

En torno a la preocupación por las condiciones de vida futuras, se estudian las preferencias intertemporales, una adaptación de la teoría del consumidor a las cuestiones ambientales. Las elecciones de la sociedad de extraer los recursos naturales ahora o en el futuro, obtener las ganancias monetarias de la extracción hoy o sacrificar su consumo presente para consumirlo en el futuro, están motivadas por muy diversos factores, como el carácter de los recursos (agotables o renovables), la tasa de renovación de los recursos renovables, los costos de oportunidad, la tasa de interés, la tasa de descuento, entre otros.

²⁸ La función de producción Cobb-Douglas ($Y = K^\alpha L^\beta R^\gamma$) representa la relación entre el producto y las variaciones de los insumos utilizados. Aunque la función admite posibilidades de sustitución, ningún insumo puede ser cero, ya que eso implicaría $Y = 0$.

La tasa de descuento juega un papel clave en la determinación del momento de la extracción de recursos naturales en el tiempo, pues con base en ella se evalúan las ganancias presentes y futuras. Altas tasas de descuento favorecen la depredación, y las bajas tasas inducen a sacrificar el consumo presente en beneficio del futuro, pensando que en el futuro generará rentas mayores. La tasa de descuento está definida por factores como el riesgo, las expectativas de inflación, la presencia de impuestos sobre ganancias, e incluso, por una dimensión ética al valorar los beneficios presentes y futuros. Al respecto, Arrow (1999) señala que los individuos no están obligados a suscribir completamente a la moralidad a cualquier costo para ellos mismos; cada generación es egoísta, pues aunque reconocen argumentos morales para el futuro lejano, ven por sí mismos y el futuro cercano, además considera que las futuras generaciones serán igualmente egoístas. La fuerte exigencia ética de que todas las generaciones sean tratadas igual, contradice la fuerte intuición de que no es moralmente aceptable demandar tasas excesivamente altas de ahorros a una generación e incluso a todas.

Otro problema que ocupa a la economía de los recursos naturales es el régimen de propiedad de los recursos. A partir de la publicación de “La tragedia de los comunes” (Hardin, 1968) se amplió el debate sobre el comportamiento humano ante la existencia de recursos comunes. En esta exposición, cada individuo busca maximizar su bienestar a partir del uso de recursos comunes; pero en la medida que la población crece —una de las mayores preocupaciones de Hardin— la capacidad de carga del recurso común es sobrepasada. El hombre se encuentra en un sistema que lo impulsa a aumentar su utilidad ilimitadamente en un mundo limitado. Ya que la utilidad positiva que obtiene cada individuo por el uso del recurso común es mayor que la utilidad negativa de hacerlo (pues la utilidad negativa la comparte con todos los que usan el recurso), el individuo racional, aun si conoce los posibles efectos sociales negativos, decidirá seguir explotando el recurso.

Una postura radicalmente distinta a la de Hardin fue introducida por Elinor Ostrom (1990), quien analizó numerosos casos de manejo de recursos colectivos, muchos de ellos con resultados exitosos, lo que la llevó a concluir que los usuarios y propietarios de los bienes comunes son capaces de crear instituciones que permiten el aprovechamiento

sustentable de los recursos, identificando como factores clave el compromiso de las partes involucradas y su capacidad de supervisión.

1.3.1.2. Economía ambiental

La economía ambiental se basa en el análisis microeconómico, sobre todo en las teorías del consumidor, de la empresa y de la interacción de los mercados, pero también adapta conceptos desarrollados por otras ramas de la economía, como las finanzas públicas y la organización industrial, para aplicarlos a los problemas ambientales. Estudia el efecto de la economía en el ambiente, el significado de éste para la economía y la forma de regular la actividad económica para que haya un equilibrio entre la calidad del ambiente, los intereses económicos y los de tipo social. En el centro de los problemas ambientales está la economía, el comportamiento de los productores y los deseos de los consumidores (Kolstad, 2000: 4, citado en Pérez Espejo, Ávila Foucat y Aguilar Ibarra (2010)).

Aunque, como en casi todas las disciplinas, no hay un consenso sobre el origen de la economía ambiental, en este apartado se da continuidad a la idea de Aguilera Klink y Alcántara (1994), quienes consideran que las bases conceptuales de lo que hoy se conoce como economía ambiental se encuentran en los trabajos de Pigou y Coase, quienes paradójicamente no estaban interesados en cuestiones ambientales.

Pigou (1920, citado en Cuerdo Mir y Ramos Gorostiza (2000)), reconocido como pionero de la economía del bienestar, intentó realizar un análisis sistemático de las fallas de mercado, identificando bienestar social con asignación óptima de recursos. Pigou cuestionó el funcionamiento de la libre competencia y la conveniencia de la intervención estatal para alcanzar un óptimo social (provisión del mayor bien para el mayor número) frente a las fallas de mercado:

... hasta qué punto el libre juego de los intereses particulares, actuando bajo el sistema legal existente, tiende a distribuir los recursos del país del modo más conveniente para la generación de una gran renta nacional, y hasta qué punto la actuación del Estado puede mejorar estas tendencias naturales (p. 123).

De las fallas de mercado, las externalidades son las más analizadas en la economía ambiental, principalmente las negativas. Las externalidades ambientales negativas se originan cuando la actividad económica de las empresas y los individuos genera efectos

negativos en el medio ambiente, los cuales recaen sobre terceros, sin que éstos sean compensados, por lo que los costes privados de la actividad son menores que los costes sociales.

Pigou definió a las externalidades como las divergencias entre los productos marginales netos sociales y privados, un “accidente” en el normal funcionamiento del mercado competitivo. Al producto marginal social lo definió como aquella parte del aumento de la producción total debida al incremento marginal de los recursos invertidos en un empleo o lugar dados, sin tener en cuenta a quienes revertirían las partes de las que se compone ese producto. Mientras que el producto marginal privado se identificó con aquella parte de la producción total que revierte a la persona que ha invertido en dichos recursos (*Ibídem*).

Con el tiempo, el análisis de Pigou se fue aplicando a los problemas ambientales, como la contaminación, pasó a los manuales de economía ambiental y se formalizó la idea de “impuesto pigouviano” y lo que Coase llamó “la tradición pigouviana”: ante la falla del mercado, se aboga por la intervención pública automática con el fin de restablecer el óptimo económico, confiando en la capacidad de un Estado que actúa sin errores en la búsqueda del bien común (Ramos Gorostiza, 2005). El Estado puede restringir las inversiones en las actividades que generan las externalidades a través de impuestos. Aunque legítimamente esta solución sí proviene del análisis hecho por Pigou, diversos estudiosos del pensamiento económico resaltan que este autor puso mucho mayor énfasis en la posibilidad de alcanzar soluciones mediante la consecución de acuerdos voluntarios introducidos por los propios propietarios en los contratos, antes que en las primas o los impuestos (Aguilera Klink & Alcántara, 1994).

Por su parte Coase (1960) planteó el problema de las externalidades de un modo diferente, partiendo de una naturaleza recíproca de los efectos externos. Si se supone que en el proceso productivo de una fábrica es inevitable contaminar, si se le permite producir, perjudica a los vecinos, pero si no se le permite perjudica a la empresa. Para determinar qué hacer, se debe medir el valor de lo que se consigue y el valor de lo que se deja de conseguir. El objetivo es evitar el perjuicio más grave. Una vez resuelta esta cuestión, la intervención

del Estado no es necesariamente la mejor ni la única alternativa, lo que hay que hacer es comparar una amplia gama de arreglos institucionales alternativos e imperfectos, esto es, comparar las distintas posibilidades de intervención estatal entre sí, y con la solución de mercado basada en los acuerdos voluntarios.

De su análisis, al igual que en el caso de Pigou, se hicieron abstracciones y se concedió la mayor importancia a lo que hoy se conoce como “teorema de Coase”, que no es más que una versión particularmente idealizada de los acuerdos voluntarios de Pigou (Aguilera Klink & Alcántara, 1994). El teorema postula que si no existen costos de transacción y los derechos de propiedad están perfectamente definidos, siempre es posible internalizar cualquier efecto externo a través de la negociación entre las partes implicadas, independientemente de cual fuese la distribución inicial de los derechos. Sin embargo, Coase admite casos con elevados costos de transacción, en los que la intervención estatal puede estar justificada (propuesta similar a la de Pigou), aunque siempre considerando que la actuación pública también es costosa.

Muchas de las críticas al teorema de Coase, como que en la realidad no existen las condiciones ideales planteadas en el teorema, que en el caso de los problemas medioambientales hay efectos difusos (en espacio y tiempo), que reunir y persuadir a todos los afectados por un problema ambiental para que lleguen a un acuerdo puede ser una tarea monumental, que es difícil medir la intensidad del daño, que de hecho hay altos costos de transacción, entre otras, fueron analizadas y expuestas por el mismo Coase, tanto en su artículo de 1960 de donde derivó el teorema como en artículos posteriores²⁹.

Por otra parte, Mishan (1971, citado en Aguilera Klink y Alcántara (1994)), muestra que incluso con costos de transacción nulos, a cada distribución de derechos de propiedad corresponde un óptimo, es decir, que sí importa la distribución inicial de los derechos de propiedad en el resultado final obtenido, el óptimo no es siempre el mismo.

²⁹ La relevancia que cobró el teorema de Coase, que se convirtió en un ícono de derecha, obedeció más a intereses políticos y de grandes empresas, que al valor teórico económico del mismo. El mismo Coase mostró molestia por la glorificación del teorema, afirmó que la gente se centró en pocas páginas de su artículo de 1960 e ignoró lo demás (Cassidy, 2013).

Marcos legales diferentes influyen de distinta manera en las actividades económicas, o con distribuciones de derechos diferentes la gente mostrará que la disposición a pagar difiere de la disposición a recibir (la variación compensadora no es igual a la equivalente) al existir efectos de renta, por lo que habrá tantos óptimos como marcos institucionales.

Vale la pena, por último, reflexionar sobre el tema de la propiedad privada, al que Hardin refirió como tragedia no solo en torno a los recursos naturales, sino también a la contaminación ambiental. De acuerdo con Hardin (1968), aquí el asunto no es sacar algo de los recursos comunes, sino de ponerles algo dentro: “ensuciar nuestro propio nido”. Pero el aire y el agua no se pueden cercar fácilmente, por lo que la tragedia de los recursos comunes debe evitarse de diferentes maneras, ya sea por medio de leyes coercitivas o mecanismos fiscales que hagan más barato para el contaminador el tratar sus desechos antes de deshacerse de ellos sin tratarlos.

En resumen, tanto en la economía de los recursos naturales como en la economía ambiental se supone que los agentes actúan de acuerdo al principio de maximización de ganancias y utilidad, y por tanto no intentarán la conservación de los recursos o la reducción de residuos a menos que haya algo que los obligue o incentive a hacerlo, o bien que ello les reditúe algún beneficio. En este contexto, los derechos privados y la asignación óptima de recursos y de contaminación con base en el sistema de precios, asoman como preocupaciones centrales de la economía neoclásica interesada en el medio ambiente, escenario en el que se reconoce la importancia de un marco institucional capaz de manejar estos problemas, dada la existencia de fallas de mercado. Nótese, que en todos los planteamientos expuestos, las sendas del aprovechamiento de los recursos naturales y de la contaminación recaen del lado del productor, aspecto que se retomará más adelante en el análisis específico del cambio climático.

1.3.2. La economía ecológica: una visión transdisciplinaria

La economía ecológica es el estudio de las interacciones entre sistemas socioeconómicos y sistemas ecológicos. Esta corriente reconoce que para subsistir, los seres humanos extraen distintos tipos de elementos útiles del medio ambiente e introducen en éste los residuos que originan sus actividades. Pero a diferencia de la economía de los recursos naturales y de la

economía ambiental, la economía ecológica considera que los principios de la economía neoclásica no pueden resolver los problemas ambientales, por lo que reclama un análisis más estrecho entre los procesos ecosistémicos y socioeconómicos, basado en nociones biofísicas, así como en variables de tipo social y político; de ahí su carácter transdisciplinario, pues demanda la participación de diversos especialistas, no solo de economistas. Las leyes de la termodinámica³⁰, la escala de la economía limitada por la oferta de los ecosistemas (tanto para extracción de recursos como para expulsión de desechos) y el capital natural no sustituible por capital manufacturado (sustentabilidad fuerte) constituyen los ejes fundamentales sobre los que la economía ecológica se articula (Aguilera Klink & Alcántara, 1994; Common & Stagl, 2008; Foladori, 2005b; Pérez Espejo, Ávila Foucat, & Aguilar Ibarra, 2010).

Si bien el enfoque de la economía ecológica es distinto al de la economía neoclásica, tal afirmación no niega el hecho de que la economía ecológica es también antropocéntrica y utilitarista. En cuanto al antropocentrismo, la diferencia entre la economía neoclásica y la ecológica radica en que para la primera, la importancia de los ecosistemas está dado por ser fuente de recursos para la actividad económica; en cambio para la segunda, además de ser fuente para la actividad económica, los ecosistemas cumplen una amplia gama de funciones para el ser humano como ser biológico y para las actividades que la sociedad humana desempeña (Foladori, 2005b). Respecto al utilitarismo, la distinción radica en la forma en que se mide la utilidad. Para los neoclásicos, la utilidad se mide con base en el juicio de cada individuo, las preferencias individuales se dan por sentadas y no están sujetas a ninguna evaluación moral; mientras que para la economía ecológica sí puede existir un fundamento ético para comparar, evaluar y tratar de modificar las preferencias; de hecho los requerimientos de sostenibilidad son una fuente de criterios normativos (Common & Stagl, 2008).

³⁰ La termodinámica es una rama de la física que se fundamenta en cuatro leyes (0, 1ª, 2ª y 3ª), de las cuales la primera y, principalmente, la segunda, son retomadas por la economía ecológica para explicar las interacciones economía-medio ambiente. La primera ley de la termodinámica (ley de la conservación) señala que la energía y la materia no se crean ni se destruyen, solo se transforman. La segunda ley de la termodinámica (ley de la entropía) estipula que ningún proceso de transformación es 100% eficiente y por lo tanto, todos los procesos siempre generan energía no disponible (alta entropía), por ello la cantidad de entropía del universo tiende a incrementarse en el tiempo.

La economía ecológica se visualiza como un campo relativamente nuevo, empero su origen podría hallarse incluso siglos atrás. Por ejemplo, con los fisiócratas (siglo XVIII), quienes consideraron la existencia de una ley natural que aseguraba el funcionamiento del sistema económico y a la naturaleza como la fuente de riqueza; o con John Stuart Mill (1806-1873), quien sostuvo que el capital natural no podía ser sustituido por capital humano o tecnológico (Pérez Espejo, Ávila Foucat, & Aguilar Ibarra, 2010). Martínez Alier y Schlüpmann (1991) señalan que la economía ecológica ha existido por lo menos desde hace 100 años, pero los actores que la consolidaron a partir de la segunda mitad del siglo XX³¹, a pesar de su conciencia histórica, han conocido a pocos de sus predecesores.

La publicación de “La ley de la entropía y el proceso económico” (Georgescu-Roegen, 1971) fue decisiva para la afirmación de la economía ecológica como una corriente de pensamiento en sí misma, y dio paso al análisis económico que incorpora explícitamente las leyes de la termodinámica, sobre todo la segunda³². Así, en los años setentas la economía ecológica comenzó a distinguirse como una nueva disciplina, separada de la economía de los recursos naturales y de la economía ambiental. En los ochentas se consolidó a partir de sucesos como el congreso *Integrating Ecology and Economy* en 1982 en Suecia; la aparición de la revista *Ecological Modelling* en 1987, de la que se publica un número especial sobre integración entre economía y ecología; la fundación de la Sociedad Internacional de Economía Ecológica (*ISEE*, por sus siglas en inglés) en 1989; y la publicación del primer número de la revista *Ecological Economics* en el mismo año (Pérez Espejo, Ávila Foucat, & Aguilar Ibarra, 2010).

Con su énfasis en la ley de la entropía, Georgescu-Roegen (1971) evidenció un fenómeno crucial: las actividades económicas implican pérdidas de energía, no en términos

³¹ Nicholas Georgescu-Roegen, Fred Cottrell, Anne y Paul Ehrlich, Herman Daly, Barry Commoner, Howard y Eugene Odum, Richard Adams, Gerald Leach, Gerald Foley, David Pimentel, Iván Illich, Kenneth Watt, René Passet, Roy Rappaport, Wolfgang Harich, Kenneth Boulding, Charles Perrings.

³² A pesar de que el segundo principio de la termodinámica fue establecido desde 1824 por Sadi Carnot, y retomado y más difundido con el nombre de “ley de la entropía” en 1865 por Rudolf Clausius; pese también a la aparición de trabajos previos que incluyeron la importancia de la ley de la entropía en la actividad económica, por ejemplo Podolinsky (1880), en la construcción de la teoría neoclásica simplemente se ignoró, y esta teoría permaneció al cobijo de la primera ley como fundamento del mecanicismo que la caracteriza.

de cantidad, sino en términos de calidad. Todos los procesos de transformación de energía comprenden una cierta degradación de la calidad de la energía (la calidad refiere a la proporción de energía disponible para la transformación), por lo que en un sistema aislado³³, como el universo, la entropía tiende a aumentar, es decir que la energía no disponible no puede disminuir (Common & Stagl, 2008).

Esta conclusión debe preocupar a la economía, un subsistema del universo, ya que “toda nuestra vida económica se alimenta de baja entropía” (Georgescu-Roegen, 1971, pág. 348). La baja entropía es la condición necesaria para que una cosa sea útil y no es posible utilizar más que una sola vez una cantidad dada de baja entropía. Por lo tanto, es imposible utilizar la primera ley de la termodinámica para justificar la visión de la economía mecanicista que no agota recursos (materia o energía), en realidad agota recursos disponibles, que es lo realmente indispensable para realizar cualquier actividad. “El proceso económico es entrópico: no crea ni consume materia o energía sino que solamente transforma baja entropía en alta entropía” (*Ibidem*, p. 353). Este proceso genera escasez, ya que la cantidad de baja entropía en nuestro entorno decrece continua e irrevocablemente.

Según el Fondo Mundial para la Naturaleza (*WWF*, por sus siglas en inglés), la huella ecológica global en 2012 fue de 1.6 planetas Tierra, y el 60% de esta huella se relacionó con las emisiones de carbono (*WWF*, 2016). En términos simples, esto significa que en 2012 la humanidad requería la capacidad regenerativa de 1.6 Tierras para poder satisfacer sus demandas anuales. Resulta preocupante que al menos desde 1970, la extracción de los recursos y la expulsión de los residuos han sido más rápidas que la capacidad de regeneración de la Tierra, y se ha observado una tendencia creciente de la huella ecológica. Hasta ahora el exceso se ha podido cubrir porque aún los recursos no tienden a la extinción y no se ha llegado al punto máximo de saturación de contaminantes.

³³ De acuerdo al intercambio de materia y energía, en termodinámica se distinguen tres tipos de sistemas: 1) sistemas abiertos: intercambian materia y energía con su medio ambiente; 2) sistemas cerrados: solo intercambian energía con su ambiente; 3) sistemas aislados: no intercambian ni materia ni energía con su ambiente. La economía, el medio ambiente y el universo, son ejemplos de estos sistemas, respectivamente (Common & Stagl, 2008).

Estas evidencias, dan cuenta de que los instrumentos de mercado implementados y los avances tecnológicos aplicados para la conservación ambiental no han podido frenar el creciente desequilibrio. De seguir en la misma trayectoria, podría llegarse hasta un punto crítico que restrinja la actividad económica. Así, el paradigma de crecimiento económico se torna discutible. Sin embargo, esta discusión generalmente pasa desapercibida o no es tomada en cuenta por la mayor parte de los economistas³⁴.

En 1972, la obra “Los límites del crecimiento –Informe para el proyecto del Club de Roma en torno al Predicamento de la Humanidad” (Meadows, Meadows, Randers, & Behrens III, 1972) contribuyó de forma significativa al debate. Este equipo del Instituto Tecnológico de Massachusetts desarrolló un modelo para evaluar las posibilidades de crecimiento económico continuo en el mundo real, e identificó cinco factores básicos que determinan y podrían limitar el crecimiento económico: población, producción agrícola, recursos naturales, industrialización y contaminación. En el informe se analizaron varios escenarios con el fin de ubicar los puntos clave que habrían de ser modificados para evitar el colapso de la economía mundial, los cambios deseables ubicados fueron: estabilización de la población, progreso tecnológico para reducir el uso de recursos y la expulsión de residuos, estabilización del ingreso per cápita y disminución de la erosión del suelo. Aunque el informe subrayó la importancia del desarrollo tecnológico para el logro de un sistema sostenible, también cuestionó fuertemente los “progresos” de la sociedad tecnológica, que a menudo traen consigo condiciones de vida más adversas.

Conectado con estas preocupaciones, Herman Daly (1974) propuso una de las primeras aproximaciones para limitar el crecimiento: el “estado estacionario” (*steady state*).

³⁴ Maddison, por ejemplo, al estudiar las fuerzas dinámicas del capitalismo se pronunció escéptico de que a la larga los recursos naturales limiten el crecimiento (Maddison, 1991). Por su parte, la mayor parte de los libros de enseñanza económica no incluyen la preocupación acerca de los límites en el mundo natural o deliberadamente los ignoran. Dornbusch, *et al.*, (2009) consideran que la preocupación de que el crecimiento exponencial de la economía termine con el fondo fijo de recursos, parece más la preocupación de un curso de astrofísica (o acaso de teología) que de un curso de economía; y que el progreso técnico y la sustitución de recursos cuando escasean y su precio aumenta, protegen a la economía de desastres. Mankiw (2012, pág. 540) argumenta: “... nuestra capacidad para conservar esos recursos [naturales] crece con mayor rapidez de lo que menguan sus suministros. Los precios de mercado no dan razón alguna para creer que los recursos naturales son una limitante para el crecimiento económico”.

Una economía de estado estacionario se define por acervos constantes de riqueza física (objetos) y una población constante, cada uno de los cuales se mantiene a cierto nivel conveniente y elegido, gracias a una tasa reducida de transumo, o sea, tasas de fecundidad bajas iguales a tasas de mortalidad bajas, y tasas reducidas de producción física iguales a tasas bajas de depreciación física, de modo que la longevidad de la población y la durabilidad de los acervos físicos sean elevados (p. 357).

Aunque el estado estacionario de Daly impone de cierta forma límites al crecimiento, el concepto no fue bien recibido, incluso por su maestro Georgescu-Roegan y otros economistas heterodoxos. Georgescu consideró que este concepto no es compatible con la cuarta ley de la termodinámica³⁵; Latouche lo considera una imposibilidad entrópica (Kerschner, 2008); mientras Leff (2008) afirma que sujetar a la economía para que no crezca más allá de lo que permite el mantenimiento del capital natural, es algo de lo que la economía no es consciente y, por lo tanto, la economía no consiente tal receta ecológica.

En general, el análisis de la economía ecológica es crítico y complejo, por lo que en muchas ocasiones resulta difícil que a partir de él puedan hacerse propuestas concretas de política; hay entonces una especie de encrucijada entre construir metodologías nuevas con un enfoque integral de los problemas ambientales y uno pragmático para la solución de estos problemas en el corto plazo (Pérez Espejo, Ávila Foucat, & Aguilar Ibarra, 2010). En la teoría, las distancias entre la economía ecológica y las economías ambiental y de recursos naturales son aparentemente grandes, pero en la práctica se reducen hasta confundirse en una misma propuesta, por ejemplo, asignación de precios a los recursos naturales y los contaminantes, o mecanismos políticos de control que prohíben o limitan el uso de ciertos recursos o determinados niveles de contaminación (Foladori, 2005b), aunque tales propuestas suelen ser reprobadas por los ecologistas más radicales.

³⁵ La cuarta ley de la termodinámica fue propuesta por el mismo Georgescu en 1971 y apunta que no solo la energía en un sistema aislado sería irreversible, sino también la materia en un sistema cerrado, lo que equivale a decir que el reciclado total es imposible. Sin embargo, este planteamiento ha sido refutado por autores que consideran que el reciclado total es posible en un sistema cerrado pero a expensas de una gran cantidad de energía, con el consiguiente aumento de la entropía, por lo tanto la segunda ley de la termodinámica explica el proceso, sin que sea necesaria una cuarta ley (Pérez Espejo, Ávila Foucat, & Aguilar Ibarra, 2010).

1.3.3. Otras visiones heterodoxas

En el seno de la economía ecológica o con planteamientos muy cercanos a ella, algunas visiones han emergido para enlazar las preocupaciones económicas y ambientales con preocupaciones sociales y en torno al bienestar humano. En 1973, “Lo pequeño es hermoso”, una colección de ensayos de E. F. Schumacher, además de ubicar el dilema económico-ambiental, criticó al modelo económico occidental por pretender medir el nivel de vida por la cantidad de consumo anual. La economía moderna trata de maximizar el consumo por medio de un modelo óptimo de esfuerzo productivo. En contraste, la “economía budista” propuesta por Schumacher trataría de maximizar las satisfacciones humanas por medio de un modelo óptimo de consumo: obtener máximo bienestar con un mínimo de consumo. Esta propuesta apunta necesariamente cambios drásticos en la concepción de la propia economía: “más” no es necesariamente mejor, tecnología a escala humana, trabajo como fuente de gozo, ocio como parte de un proceso vital, economía local como forma económica más racional, entre otros (Schumacher, 1973).

Ya en años más recientes, en Francia en los años noventa, se extendió una corriente de pensamiento que igualmente busca conciliar la economía, el medio ambiente y el bienestar humano: el decrecimiento. Aunque sus bases teóricas podrían ubicarse en trabajos previos, se consideran principalmente las aportaciones de Serge Latouche como las fundadoras del concepto. El decrecimiento plantea abandonar el objetivo de “crecer por crecer”, pues el crecimiento no es sostenible ni es deseable. El término “decrecimiento” se utiliza para romper el lenguaje estereotipado del sistema consumista (objetivamente podría llamarse “acrecimiento”) e implica reducir de forma controlada la producción económica y el consumo, con el fin de establecer una relación de equilibrio entre el ser humano y la naturaleza, así como entre los seres humanos. Según esta corriente, la transición al decrecimiento podrá darse mediante escala reducida, relocalización, eficiencia, cooperación, autoproducción e intercambio, durabilidad y sobriedad (Latouche, 2006).

Al respecto, Trainer (2011) arguye que las implicaciones del crecimiento cero³⁶ no han sido del todo comprendidas, pues la mayoría procede como si fuera factible eliminar el elemento crecimiento de la economía mientras el resto se queda aproximadamente como está; lo cual no es posible, ya que los procesos y las estructuras actuales implican crecimiento, para cambiarlos radicalmente se requeriría un gran cambio social, tal vez mayor al que la sociedad occidental ha experimentado en varios cientos de años. No obstante, Trainer reconoce problemas de índole económico-ambiental-social de tal severidad, que considera que la sociedad de consumo capitalista no puede ser reformada o arreglada, tiene que ser desechada en gran medida y rehecha sobre diferentes líneas.

En la misma vía, diversos autores han señalado la necesidad de desarrollar una economía desde otra racionalidad, de construir una nueva modernidad, lejos de la doble explotación (sobre la naturaleza y sobre el trabajo) que el modelo actual engendra. Con base en esta idea, se han desarrollado diferentes aproximaciones teóricas para su estudio, por ejemplo, el concepto de “crisis civilizatoria” apuntado por Enrique Leff (2008), Victor Toledo (2015), entre otros; o la propuesta del “buen vivir” (en oposición al “vivir mejor”), construida a partir de cosmovisiones originarias del sur de América, así como de posturas críticas desde el pensamiento occidental, que busca alternativas comprometidas con la calidad de vida de las personas, la protección del ambiente, y otro tipo de relacionalidad de los humanos con su entorno (Honty & Gudynas, 2014).

Alrededor de estas ideas, se estima que la búsqueda de soluciones a la crisis multidimensional debe contemplar al individuo, a su ser, su cultura y sus relaciones consigo mismo y los otros, entre las que se encuentra su manera de entender a la naturaleza, así como sus formas de organizarse y de resistir (Toledo, 2015). Este contexto, apunta como alternativa el desarrollo de pequeñas economías autosuficientes localmente y bajo control social, donde se produzcan los bienes “necesarios” para tener una buena calidad de vida (Leff, 2008; Toledo, 2015; Trainer, 2011), alternativas que de hecho ya existen, solo que

³⁶ Cuando Trainer (2011) discute el crecimiento cero se refiere tanto al planteamiento del estado estacionario como al planteamiento del decrecimiento.

raramente son tomadas en cuenta, ya que no son visibles ni creíbles para la forma de pensar dentro del modelo económico actual (de Sousa Santos, 2011).

1.4. El estudio del cambio climático en la economía

En la ciencia económica, el estudio del cambio climático se ha abordado principalmente a través de elementos teóricos con raíces neoclásicas provenientes de la economía ambiental, y en menor medida se ha aproximado el problema con enfoques desde la economía ecológica u otros enfoques heterodoxos.

1.4.1. El enfoque convencional... y algunos cuestionamientos

Desde que la obra “Nuestro futuro común” o “Informe Brundtland” (WCED, 1987) acuñó de manera “formal” el término “desarrollo sostenible”³⁷, este concepto cobró gran fuerza y, dada su flexibilidad, se ha aplicado en el estudio de prácticamente todos los problemas de tipo medioambiental, incluido el cambio climático³⁸. El Informe es una propuesta optimista que concilia aspectos económicos, ambientales y sociales del desarrollo, un llamado a la acción para cambiar las estrategias de desarrollo y revertir el deterioro ambiental a través del desarrollo sostenible. Este desarrollo sostenible implica limitaciones, pero no límites absolutos, sino limitaciones que imponen a los recursos naturales, el estado actual de la tecnología y de la organización social y la capacidad de la biosfera de absorber los efectos de las actividades humanas. Ordenar y mejorar la tecnología y la organización social serían entonces las formas para abrir camino a una nueva era de crecimiento económico, el cual se consideró indispensable para abatir la pobreza, mayor causa y efecto de los problemas ambientales (*Ibidem*).

Como señala Lezama (2010): “el Informe Brundtland recoge la idea de que, sin tocar los fundamentos de la moderna sociedad industrial, es posible corregir sus excesos,

³⁷ Desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias (WCED, 1987).

³⁸ Diversos autores sugieren que el concepto de desarrollo sostenible es ambiguo, incluso contradictorio. La imprecisión del concepto lo hace flexible y proclive a múltiples interpretaciones, con lo que ha ganado una aceptación casi general, consolidándose como una poderosa herramienta de consenso. Ver, por ejemplo, Lélé (1991) y Mebratu (1998).

recuperar la naturaleza perdida y (...) lograr un desarrollo duradero” (p. 41). Sobre estas ideas se han articulado la mayor parte de las estrategias y políticas de mitigación del cambio climático, denominadas aquí “enfoque convencional”, cuyo predominio es evidente en la investigación y en prácticamente todos los documentos de análisis del tema de los organismos internacionales, incluido el IPCC, que mucho peso tienen en el tratamiento del cambio climático. Este enfoque se basa en principios neoclásicos, pero reconoce la existencia de fallas de mercado, lo que abre paso a la intervención del Estado e incluso de la comunidad internacional. Se trata de una especie de “*mainstream* ampliado”, como lo denomina de la Vega (2015a):

Si bien se mantiene la idea de que la “economía pura” establece con rigor la norma de la economía perfectamente competitiva, de manera pragmática se debe intentar acercar la realidad lo más cerca de esa norma. Aquí es donde se sitúa el papel del Estado, a quien se le otorga el estatuto de implantar las condiciones para que un mercado funcione: un Estado regulador. (p. 99)

Si se siguen los principios básicos de la economía neoclásica, la intervención estatal o internacional debería limitarse al corto (o mediano) plazo, solo para corregir la falla de mercado (el cambio climático) y restablecer el equilibrio. Después de ello, el mercado por sí mismo sería capaz de mantenerse en el óptimo. Sobre este punto, vale la pena cuestionarse si realmente el cambio climático es una falla de mercado, un mero accidente en el funcionamiento normal del mercado, o es, más bien, una consecuencia intrínseca de la forma en que opera regularmente el mercado.

En un marco amplio, planteamientos como “producción limpia”, “eficiencia”, “economía verde”, entre otros, apuntan a una producción creciente de bienes y servicios, conjugada con una menor utilización de recursos naturales y menores impactos ambientales. En un marco más específico para el cambio climático, la “descarbonación profunda” sugiere compatibilizar el crecimiento económico con la reducción de emisiones de CO₂ relacionadas con la energía. La idea de producir más con menos, y generar menos residuos, subyace en todos estos planteamientos, diferencias entre ellos surgen, por ejemplo, del alcance, los actores involucrados y los modos de ejecución de cada uno.

La “producción limpia” se asocia principalmente con la minimización de desechos de la actividad productiva, donde los gobiernos juegan un papel importante al establecer regulaciones específicas que el sector productivo ha de cumplir. La “eficiencia”, por su parte, incluye preocupaciones más allá de la contaminación, como la productividad de los recursos naturales y la reducción de los impactos ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida de los productos. Se trata de una propuesta fundamentalmente empresarial, acuñada en 1992 por el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible, en la que el sector privado se convierte en protagonista del proceso de mejoramiento ambiental, en un contexto en que sus objetivos de producir, generar empleo, obtener ganancias e invertir no aparecen como enemigos del medio ambiente, sino como aliados. Si la empresa optimiza el uso de los recursos, esta eficiencia se traduce en ahorros económicos para la misma y sus clientes, tanto al reducir el consumo de materias primas y suministros como al disminuir los costos de disposición y tratamiento de residuos y emisiones (Leal, 2005).

Por otro lado, la “economía verde”³⁹ es un concepto gestado al interior del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), y en su forma más básica, se describe como aquella economía que tiene bajas emisiones de carbono, utiliza los recursos de forma eficiente y es socialmente incluyente (PNUMA, 2011). El Programa identificó a la asignación incorrecta de capital como causa (no única, pero sí significativa) de que diversas crisis hayan emergido o se hayan agudizado (crisis del clima, de la diversidad biológica, del combustible, de los alimentos, del agua, del sistema financiero y del conjunto de la economía), por lo que otorga un papel central a las inversiones verdes, las cuales deben ser incentivadas por políticas nacionales e internacionales. La “Iniciativa para una Economía Verde” lanzada en 2008, propuso invertir el 2% del PIB mundial anualmente entre 2010 y 2050, en enverdecer diez sectores fundamentales de la economía con el fin de orientar el desarrollo y los flujos de capital público y privado hacia actividades

³⁹ No confundir a la “economía verde” con los “ecologistas verdes”, también llamados simplemente “verdes”, una corriente ecocentrista que propone un cambio radical en la sociedad capitalista para solucionar los problemas medioambientales. Para una descripción simplificada de la tipología del pensamiento ambientalista, ver Foladori (2005a).

con bajas emisiones de carbono y eficientes en la utilización de los recursos y así, contribuir al crecimiento de la producción y el empleo (*Ibidem*).

Con respecto al cambio climático, se sugiere que el enverdecimiento de la mayoría de los sectores económicos reducirá significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero; el enverdecimiento incluye inversiones en energías renovables y eficiencia energética. Sobre los fondos necesarios para lograr la reducción de las emisiones de CO₂, la IEA estimó 750 mil millones de dólares anuales de 2010 a 2030, y 1.6 billones de dólares anuales de 2030 a 2050, para reducir a la mitad las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía para el 2050 con respecto a 2010; el Foro Económico Mundial y *Bloomberg New Energy Finance* calcularon que la inversión en energía limpia debería ascender a 500 mil millones de dólares anuales para el año 2020 para lograr limitar el calentamiento global a menos de 2°C; HSBC estimó que la transición a un mercado de energía bajo en carbono requerirá una inversión de 10 billones de dólares entre 2010 y 2020 (*Ibidem*).

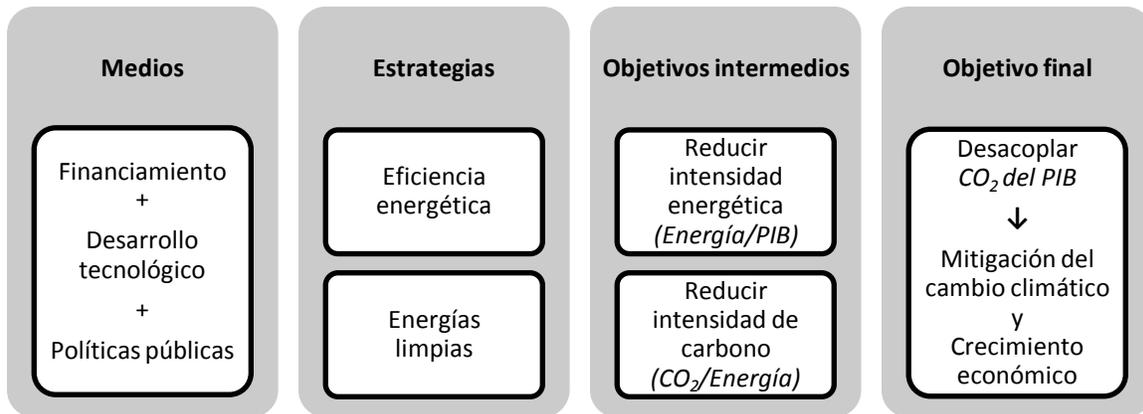
La descarbonación profunda, por su parte, es un planteamiento reciente forjado en el Proyecto de Rutas de Descarbonación Profunda (*DDPP*, por sus siglas en inglés), una iniciativa de colaboración global de investigación formada en 2013, en la que actualmente participan 16 países (Alemania, Australia, Brasil, Canadá, China, Corea del Sur, Estados Unidos, Francia, India, Indonesia, Italia, Japón, México, Reino Unido, Rusia y Sudáfrica), que en 2010 representaron el 74% de las emisiones de CO₂ globales relacionadas con la energía. De acuerdo al *DDPP*, los países (individualmente) pueden transitar a una economía baja en carbono y contribuir para limitar el incremento de la temperatura debajo de los 2° C, ya que la descarbonación profunda del sistema energético es técnicamente posible y puede adaptarse al crecimiento económico y demográfico, siempre y cuando se impulsen los tres pilares para lograrlo: 1) eficiencia energética y conservación; 2) descarbonación de la electricidad y los combustibles; 3) cambio a fuentes de bajo carbono en los usos finales de la energía. Así, según el *DDPP*, la descarbonación profunda permitirá simultáneamente expandir el acceso a la energía en países en desarrollo, continuar con el transporte de pasajeros y mercancías, proveer viviendas y servicios públicos iguales o mejores, y soportar altos niveles de actividad industrial y comercial (*DDPP*, 2015).

Esencialmente, la propuesta del Proyecto es mejorar la infraestructura energética mediante el reemplazo de tecnologías ineficientes e intensivas en carbono con tecnologías eficientes y de bajo carbono, lo que implícitamente conlleva transitar a combustibles de bajo carbono. Según el DDPP, la escala de inversión necesaria en este tipo de tecnologías es mayor que los niveles de inversión energética actuales, lo cual crea oportunidades económicas; pero más que un gran incremento en la inversión energética, se trata de un cambio en el destino de esta inversión, de las tecnologías fósiles hacia las de bajo carbono. En la misma línea, el IPCC ha señalado que a pesar de que no hay definiciones acordadas para la inversión climática o la financiación climática, los flujos financieros asociados con la mitigación y la adaptación del cambio climático están disponibles (IPCC, 2014b). La inversión anual estimada por el DDPP (2015) para lograr la descarbonación profunda en los 16 miembros del Proyecto es de 484, 963, 1,452 y 1,882 miles de millones de dólares anuales en 2020, 2030, 2040 y 2050, respectivamente. Además del impulso a la inversión, el DDPP plantea indispensable la cooperación internacional que incluya desarrollo y difusión de tecnologías de bajo carbono.

De forma sintética, el Esquema 1-1 muestra la idea primordial del enfoque convencional. El financiamiento, la tecnología y las políticas públicas (en caso necesario y de corto plazo) son los medios que permiten implementar las estrategias de mitigación: eficiencia energética y energías limpias, principalmente. Éstas reducen la intensidad energética del PIB y la intensidad de carbono de la energía, respectivamente, y así, posibilitan la compatibilidad entre la mitigación del cambio climático y el crecimiento económico al desacoplar la actividad económica de las emisiones de CO₂, en línea con la

siguiente igualdad: $\frac{CO_2}{PIB} = \frac{Energía}{PIB} * \frac{CO_2}{Energía}$.

Esquema 1-1. La mitigación del cambio climático desde el enfoque convencional



Elaboración propia.

1.4.1.1. El desacoplamiento economía-CO₂

En el desacoplamiento de la actividad económica de las emisiones de CO₂ ha habido algunos avances, al menos en algunos países y, en años recientes, a nivel global. Según la IEA (2017b), las emisiones de carbono por consumo de combustibles fósiles en 2016 se mantuvieron estables por tercer año consecutivo, mientras la economía global creció 3.1%. La estabilidad en las emisiones vino, principalmente, de la reducción de las emisiones de Estados Unidos y China, mientras se mantuvieron estables en Europa, lo que compensó incrementos en la mayor parte del resto del mundo. Estos hechos parecen afianzar la llamada “curva de Kuznets ambiental”⁴⁰, según la cual, a medida que las economías avanzan en el proceso de crecimiento económico, en un primer momento los impactos ambientales crecen, después se mantienen y finalmente caen, formando así una U invertida al graficar el nivel de ingreso y el impacto ambiental en términos per cápita. En esta hipótesis, la transición se explica principalmente por dos factores: 1) el cuidado ambiental es como un bien de lujo, por el que se puede pagar una vez que el nivel de ingreso es lo suficientemente alto; 2) cambios en la estructura productiva.

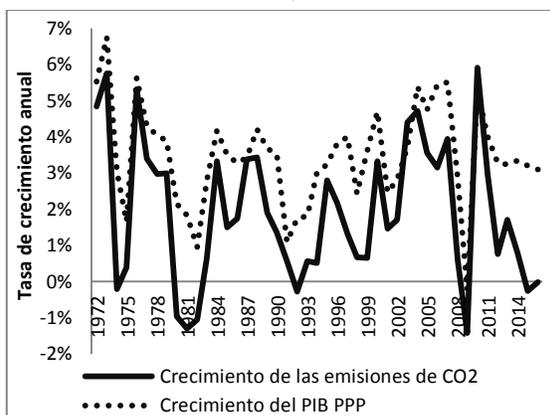
La reciente estabilización de las emisiones de CO₂ a nivel mundial ha sido tomada con optimismo, principalmente porque sus tasas de crecimiento históricamente habían

⁴⁰ La curva de Kuznets ambiental es una adaptación de la curva de Kuznets de desigualdad propuesta en 1953. Aunque la idea original de ésta no fue convertir los hallazgos de un análisis empírico en una teoría generalizada, por cuestiones políticas de facto pasó a serlo. Aún más, la hipótesis se amplió al tema ambiental.

mostrado signo positivo (salvo en momentos de profundas crisis); además, porque las fluctuaciones de las emisiones de CO₂ habían sido muy similares a las de la economía, pero en los últimos años parecen desacoplarse (ver Gráfico 1-1). Sin embargo, vale la pena ser cautelosos en la lectura de estas señales, pues aunque representan un avance, no garantizan que el mundo se encuentre en una trayectoria capaz de mantener el incremento de temperatura debajo de los 2°C (*Ibidem*). Una parte importante de estos cambios se atribuye al creciente uso de gas en la matriz energética, lo cual podría sujetar a la economía a ciertos patrones de emisiones por algún tiempo, si bien menores que el uso intensivo de carbón, insuficientes para lograr las ambiciosas metas de mitigación previstas.

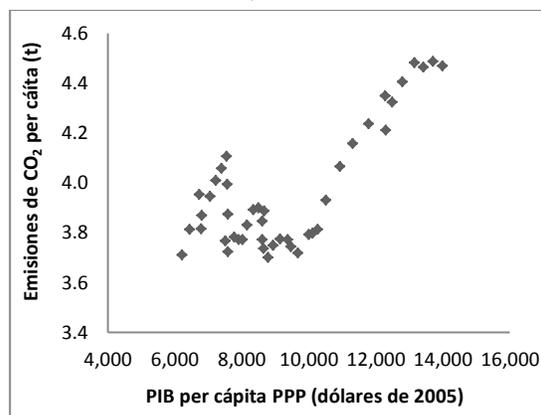
Por otra parte, la evidencia empírica de la relación entre la trayectoria económica y las emisiones de CO₂ en el mundo no coincide con la representación gráfica de la U invertida de Kuznets (ver Gráfico 1-2). Por lo que esperar que el crecimiento económico conduzca a la mitigación de emisiones podría ser un camino riesgoso.

Gráfico 1-1. Tasas de crecimiento de las emisiones de CO₂ y del PIB PPA a nivel mundial, 1972-2016



Elaboración propia con base en datos de IEA (2016; 2017b).

Gráfico 1-2. La relación entre el nivel económico y las emisiones de CO₂ en el mundo, 1971-2015



Elaboración propia con base en datos de IEA (2016).

Más aún, suponiendo que efectivamente se profundiza un desacoplamiento de la actividad económica de las emisiones de CO₂ y que es posible cotejar la curva de Kuznets ambiental en un plazo más largo, prevalecen al menos dos fuentes de preocupación en torno a los valores absolutos de las emisiones de CO₂:

- 1) Existe un umbral de emisiones de CO₂ considerado seguro.
 - a. Ya que es imposible un desacoplamiento economía-CO₂ absoluto⁴¹, por cada peso de PIB se generará, al menos, una fracción de CO₂. Por lo tanto, si el PIB crece y llega a valores muy altos, será menos probable que los valores absolutos de emisiones de CO₂ se reduzcan o lleguen a valores suficientemente bajos.
 - b. En la curva de Kuznets, el nivel de crecimiento económico necesario para conducir las emisiones de CO₂ a la baja podría ubicarse en un punto en el que ya se haya rebasado el umbral advertido.
- 2) Al llevar el análisis a nivel país, una caída de las emisiones de CO₂ de un país derivada de los cambios en su estructura productiva por el traslado de actividades intensivas en carbono al extranjero sería irrelevante para el cambio climático global, ya que solo implicaría traslado de emisiones al extranjero. Podría mejorar el indicador de emisiones de una economía nacional, pero su efecto neto no mejoraría el indicador mundial. En este sentido, es pertinente estudiar con mayor detalle los desacoplamientos más “exitosos” mostrados en las economías desarrolladas, pues estos podrían obedecer, no solo a la inversión en tecnologías de bajo carbono, sino también al cambio en su estructura productiva acompañado de importaciones de bienes intensivos en el uso de fósiles provenientes de economías en desarrollo (García Ochoa, 2010; Jackson, 2009; Simms, Johnson, & Chowla, 2010).

Según Jackson (2009), para lograr que toda la población tuviera un ingreso promedio equivalente al de EUA en 2007 y sin ir más allá de 450 partículas por millón (ppm) de CO₂e⁴², las emisiones de carbono por cada dólar de PIB tendrían que reducirse 55 veces entre 2009 y 2050 (poco más del 98%). Por su parte, el DDPP estima que de llevar a cabo la descarbonación profunda, las emisiones de CO₂ promedio del sistema energético por unidad de PIB reducirían 87% entre 2010 y 2050, en el conjunto de sus 16 países

⁴¹ Todas las actividades que producen un valor económico, por muy sofisticadas que sean, requieren del ecosistema como base material (insumos diversos y energía), y sus procesos de transformación necesariamente generan algún tipo de residuo (CO₂ y otros) y mayor entropía.

⁴² De acuerdo con el IPCC (2014b), los escenarios de mitigación caracterizados por concentraciones atmosféricas de 450 ppm de CO₂e en 2100 son los escenarios en los que es probable que el cambio de la temperatura causado por las emisiones de GEI antropogénicas pueda mantenerse debajo de los 2°C en relación con los niveles preindustriales.

miembros (DDPP, 2015). Estas estimaciones disímiles sugieren que, si se pretende trazar una trayectoria de crecimiento económico incluyente y bajas emisiones de CO₂, la relativamente menor caída de la razón CO₂/PIB que apunta el DDPP tendría que ser compensada por una mayor caída de dicha razón en el resto del mundo, donde se prevé más complicado reducir las emisiones de CO₂.

Mientras la trayectoria de emisiones de CO₂ relacionadas con la energía del DDPP al 2050 es compatible con la probabilidad 66-100% de limitar el incremento de la temperatura debajo de los 2°C, si se consideran las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía de países no miembros del DDPP, las emisiones de los *bunkers* internacionales y las emisiones de CO₂ no relacionadas con la energía, la probabilidad de limitar el incremento de la temperatura debajo de los 2°C cae en el rango 33-66%⁴³ (DDPP, 2015). Para superar esta caída, el DDPP reconoce la importancia de generar trayectorias de descarbonación más profundas en los países miembros, ampliar el análisis a todas las fuentes de emisiones de CO₂ e incluir trayectorias de descarbonación del resto del mundo.

De introducir el último punto, los pronósticos de descarbonación podrían ser menos alentadores que los actuales del DDPP, ya que el conjunto de países no miembros del DDPP contiene una gran parte de países en desarrollo, donde se espera incrementar la actividad económica, principalmente industrial de sectores intensivos en emisiones; y ampliar el acceso a la energía entre la población. Además en el conjunto de países no miembros del DDPP se espera un crecimiento demográfico de 73% entre 2010 y 2050⁴⁴, lo que sin grandes cambios en los patrones de emisión per cápita⁴⁵ o incluso con incrementos, redundaría en un alto crecimiento de las emisiones de CO₂ en términos absolutos.

⁴³ Se utilizan los rangos de probabilidad propuestos por el IPCC (2014b).

⁴⁴ En contraste, en el conjunto DDPP el crecimiento demográfico esperado entre 2010 y 2050 es de 17%. Ambos porcentajes utilizan estimaciones con fertilidad media de Naciones Unidas (2015).

⁴⁵ La estabilidad en los patrones de emisión per cápita se proyecta, inclusive, para algunos de los países miembros del DDPP: los de emisiones bajas e ingreso moderado (Brasil, India, Indonesia y México). Entre 2010 y 2050 se espera que en este grupo el consumo de energía final per cápita se duplique y las emisiones de CO₂ per cápita relacionadas con la energía en 2050 se mantengan aproximadamente en el mismo nivel de 2010 (DDPP, 2015).

Estas y otras reflexiones, ponen en jaque el enfoque convencional para enfrentar el cambio climático. Una discusión aguda tiene que ver con el hecho de que, dadas las dimensiones de la cantidad de energía que en el futuro sería demandada si se mantienen los patrones de comportamiento de la sociedad de consumo vigente y continúa una trayectoria de crecimiento económico (así sea bajo), las alternativas de desarrollo tecnológico y financiamiento de tecnologías bajas en carbono, incluso acompañadas de política pública, por sí solas no reducirían las emisiones de CO₂ al nivel objetivo propuesto en las trayectorias de descarbonación o en los acuerdos internacionales.

1.4.1.2. Sobre el desarrollo tecnológico y las tendencias en el gasto

Sobre el desarrollo tecnológico, si bien desempeña un rol importante, persiste una confianza excesiva en que éste resuelve los problemas ambientales sin requerir ningún cambio en la sociedad de consumo capitalista (Brey, 1999; Trainer, 2007). Se considera, incluso, que ya existen muchas tecnologías capaces de resolver los problemas ambientales, pero que los políticos incompetentes han fallado en implementarlas (Trainer, 2011). Este optimismo tecnológico, viene dado por diversos factores. En primer lugar, por la observación de que los estándares de vida actuales se han elevado drásticamente en comparación con los de siglos anteriores, debido en buena medida, al desarrollo tecnológico, por lo que se le confiere un papel central en casi cualquier desafío para el ser humano. En segundo lugar, por la idea de que el impacto ambiental de la actividad económica está profundamente determinado por el ritmo y la dirección del cambio tecnológico; y que al paso del tiempo, la tecnología se afianza como solución de los problemas ambientales porque sus costos tienden a caer, su calidad tiende a aumentar y una amplia variedad tecnológica tiende a estar disponible (Popp, Newell, & Jaffe, 2010).

En este sentido, un planteamiento muy optimista es el reconocido Factor 4 (Von Weizsäcker, Lovins, & Lovins, 1998), según el cual es posible duplicar el bienestar y reducir a la mitad los impactos ambientales con base en los avances técnicos⁴⁶. Para obtener

⁴⁶ Un planteamiento aún más optimista (excluido del análisis de esta tesis por considerarlo extremo), desarrollado por Schmidt-Bleek a principios de la década de los noventas, es el Factor 10, que propone un

cuatro veces más beneficios de los recursos, la clave es una “revolución de la eficiencia” que incremente su productividad; esta revolución es posible, incluso con costos negativos, es decir, con ganancias. Aunque los autores sugieren algunos cambios en las políticas y esquemas de inversión que obstaculizan la revolución de la eficiencia, ponen mucho mayor énfasis en la rentabilidad de la eficiencia para impulsar el Factor 4, por lo que se identifica al sector privado como el actor clave para alcanzar dicho factor.

Por su parte, Popp, Newell y Jaffe (2010) esbozan otra perspectiva, si bien optimista sobre el alcance de la tecnología para enfrentar los problemas ambientales (centrándose principalmente en la contaminación), distinta en el sentido de que dan más fuerza al papel de las políticas públicas. Los autores subrayan el rol de las políticas ambiental y tecnológica para corregir fallas de mercado, pues mientras la contaminación genera externalidades negativas, la inversión en investigación, desarrollo, innovación y tecnología genera externalidades positivas. Así, en ausencia de políticas, las firmas tienen pocos incentivos para invertir en tecnologías que reduzcan sus niveles de contaminación y el avance técnico en cuestiones ambientales podría rezagarse. Pero con el soporte de las políticas públicas, afirman que estas dificultades pueden superarse y consolidar al desarrollo tecnológico como solución a la emisión de contaminantes.

No obstante, los beneficios ambientales del desarrollo tecnológico, ya sea impulsado por el sector público o por el privado, podrían ser anulados por la dinámica de gasto expansiva de la sociedad capitalista, un hecho incluso reconocido por los promotores del Factor 4: para 2050, con una población prevista de 10 mil millones de personas y crecimiento en el gasto de consumo de 1.5% anual entre 1995 y 2050, los beneficios ambientales del Factor 4 (si tal revolución ocurre) podrían ser devorados por el crecimiento de la población y el crecimiento del consumo per cápita (Von Weizsäcker, Lovins, & Lovins, 1998). En la parte final de su libro, los autores afirman que cuando el crecimiento sea desenfrenado y las oportunidades de ganancias sean eventualmente agotadas, no se podrá escapar de establecer límites civilizatorios al crecimiento, lo que implicará un mejor

salto radical en la eficiencia del uso de los recursos. Para referencias concretas, visitar la página <http://www.factor10-institute.org/>.

entendimiento del bienestar y la satisfacción. Una idea que implícitamente conduce a reconsiderar los límites del crecimiento, el decrecimiento, el buen vivir y otros análisis ya esbozados en los apartados 1.3.2 y 1.3.3 de este trabajo.

Duchin y Lange (1994, citados en (Suh & Kagawa, 2009)), por su parte, analizaron las consecuencias de los supuestos del Informe Brundtland respecto al cambio tecnológico y el desarrollo económico. Mediante un modelo insumo-producto global con múltiples regiones, concluyeron que las mejoras en la eficiencia y la reducción de la contaminación no serían suficientes para compensar el impacto del crecimiento de la población y la mejora en los estándares de vida. Otros estudios consideran que ni la tecnología ni la adaptación de las empresas alcanzarán el objetivo 65-80% de reducción de las emisiones mundiales recomendado por el IPCC para permanecer dentro del límite de 2°C y que la adaptación de los modelos de consumo será requerida (Parry et al., 2008; Parry y Palutikov, 2008; Meinhausen, 2006; Hansen et al., 2008, citados en (Dubois & Ceron, 2015)).

a) La eficiencia energética

La tecnología, además, no es neutral y tiene efectos colaterales inesperados y, tal vez, no deseados (Brey, 1999). En relación con las estrategias para mitigar el cambio climático, los efectos de la eficiencia energética sobre la demanda de energía total han sido cuestionados con lo que se conoce como “efecto rebote” o “paradoja de Jevons”⁴⁷. En la economía energética, este planteamiento sugiere que la eficiencia energética podría tener un impacto menor al esperado sobre la caída de la demanda energética o incluso podría suscitarse un incremento en ésta (efecto de retroceso o *backfire*).

El efecto rebote puede ocurrir por diversos mecanismos (Font Vivanco, McDowall, Freire-González, Kemp, & van der Voet, 2016; IPCC, 2014b):

1. Directos.

⁴⁷ Esta denominación se debe a la sentencia que Jevons planteó en 1865 al observar el incremento en el uso del carbón después de ser creada la máquina de vapor: “aumentar la eficiencia disminuye el consumo instantáneo pero incrementa el uso del modelo, lo que provoca un incremento del consumo global” (Jevons, 1865).

- a. Efecto sustitución. Se origina en el sector de demanda final de los hogares, cuando las medidas de eficiencia energética reducen los costos de cierta energía y como consecuencia impulsan el consumo de ésta. Por ejemplo, conducir un auto más eficiente, cuyo ahorro en combustible induce a recorrer distancias más largas; o usar un foco ahorrador y dejarlo encendido más tiempo que un foco incandescente.
 - b. Efecto Insumo-Producto. Se origina en la producción, cuando hay una reducción en los costos de los servicios energéticos que conduce a una caída de los costos de producción y, posteriormente, del precio de bienes y servicios, lo que incrementa la demanda de esos bienes y servicios y la demanda de energía.
2. Indirectos.
- a. Efecto ingreso del lado del consumo (*re-spending*). La reducción del gasto en energía por mejoras en la eficiencia energética deriva en mayor ingreso disponible de los consumidores, que es usado para la compra de otros bienes y servicios que pueden consumir energía directamente o la consumieron para ser producidos. Por ejemplo, el ahorro en la factura de electricidad que se utiliza para comprar un nuevo teléfono celular.
 - b. Efecto ingreso del lado de la producción (*re-investment*). El ahorro en energía en el proceso productivo libera recursos para invertir en otros bienes de capital.
3. Macroeconómicos. El efecto agregado de los impactos anteriores, que puede incidir en los precios de mercado de los energéticos, el crecimiento económico, entre otros.

Sobre la magnitud del efecto rebote, las estimaciones son muy diversas y van desde efectos nulos, hasta efectos de retroceso. La mayor parte de las estimaciones descansan en métodos econométricos y han estudiado los efectos directos, principalmente el efecto sustitución en países desarrollados. En estos países, una revisión de 500 estudios sugiere efectos rebote directos de aproximadamente 10%⁴⁸. Otras revisiones han mostrado rangos mayores, entre 0 y 60%. Para las medidas de eficiencia energética en los hogares, la

⁴⁸ La estimación del efecto rebote de 10% significa que se ahorra 10% menos energía que lo proyectado en las medidas de eficiencia energética, es decir que la eficiencia energética solo alcanza el 90% de su meta original.

mayoría muestra rebotes entre 20 y 45% (directos e indirectos). En el transporte privado, hay estudios que señalan efectos rebote entre 57 y 62% (IPCC, 2014b). Otros análisis del transporte estimaron un efecto rebote de 30% en Estados Unidos, y entre 30 y 50% en Alemania e Italia (Hertwich, 2005).

Sobre los países en desarrollo, el efecto rebote podría ser mayor (IPCC, 2014b). Es más probable que haya efectos rebote fuertes en situaciones donde el consumo energético está limitado por los costos, es decir, donde los costos energéticos representan una gran proporción de los costos totales, como en países pobres y grupos de ingresos bajos, que registran una alta elasticidad precio de la demanda de energía (Hertwich, 2005). En países en desarrollo es menos probable que la eficiencia energética conduzca a una estabilización o disminución del consumo de energía, ya que el consumo no se mantiene estático, sino que sigue aumentando debido a factores demográficos, económicos y sociales (García Ochoa, 2010).

De acuerdo con Trainer (2007), el efecto rebote debe ser entendido en relación con el imperativo fundamental de la sociedad de consumo capitalista: maximizar el producto y el consumo siempre. De hecho, desde la perspectiva de la política económica, el efecto rebote puede dar lugar a efectos propagación que impulsan el crecimiento económico, lo cual no es un resultado indeseable (Hertwich, 2005). En el mismo sentido, Lezama (2014) señala que "... en última instancia, la política de ahorro y eficiencia energética que deriva del discurso eficientista internacional funcionaría más para hacer sostenible la reproducción de los capitales que para la sostenibilidad ambiental" (p. 18).

b) Las energías limpias

Ahora bien, respecto al rol de las energías limpias, a pesar de ser muy útil, es también limitado. Los altos niveles de producción y gasto característicos de la sociedad de consumo capitalista no pueden ser sostenidos solo por energías limpias (renovables, nuclear y fósiles con captura y almacenamiento de carbono para la producción eléctrica; biocombustibles para el transporte), mucho menos en el futuro si se espera que toda la población mantenga estándares de vida similares a los de países desarrollados hoy día (Trainer, 2007).

Para la generación de electricidad, las fuentes de energía renovable presentan diversos inconvenientes. La generación eléctrica solar, eólica, hidráulica o geotérmica solo es factible en algunas regiones; la solar y la eólica muestran una alta variabilidad, y dado que las posibilidades de almacenamiento de electricidad en gran escala son limitadas, deben contar con plantas fósiles o nucleares de respaldo; las plantas geotérmicas podrían tener una baja eficiencia por la cantidad de energía usada para perforar hasta la profundidad requerida, y más aún, la geotermia podría considerarse incluso una energía no renovable debido a que se extrae calor acumulado lentamente en el tiempo geológico y no se renueva a una tasa similar a la de extracción; los biocombustibles solo pueden proveer una pequeña fracción de la demanda de combustibles para la generación eléctrica; y en general, los costos de la producción eléctrica renovable son altos, aunque muchas veces reportados engañosamente, refiriendo a los costos en el punto de generación máximo, o sin incluir los costos de interconexión o de la planta de respaldo (*Ibidem*).

Además, aunque el avance tecnológico ha reducido costos y mejorado perspectivas para las energías renovables y muchos analistas suponen que seguirá ocurriendo, algunos otros consideran que la energía eólica es ya técnicamente madura y no es realista esperar reducciones importantes en los costos, salvo en materiales como el acero y otros utilizados para fabricar los aerogeneradores; y que tampoco es posible bajar más los costos de los componentes de las celdas fotovoltaicas (de la Vega, 2013). Las variaciones en los costos nivelados para la generación eléctrica en años recientes apuntan a que efectivamente los costos de algunas tecnologías han detenido su trayectoria a la baja, mientras que otras continúan tal tendencia⁴⁹; y las perspectivas para el mediano plazo mantienen al ciclo combinado como una opción más rentable que la eólica o la solar⁵⁰. Es importante tomar en cuenta que los costos de la generación eléctrica varían entre regiones y que el papel de las políticas públicas mediante subsidios y otros incentivos es determinante. Finalmente, vale

⁴⁹ Según datos de IRENA (2016), entre 2010 y 2015 las variaciones de los costos nivelados para la generación eléctrica por fuente fueron: solar fotovoltaica -56%; solar térmica -35%; eólica onshore -16%; eólica offshore +1%; geotermia +1%; mientras que hidráulica y biomasa prácticamente no registraron cambios.

⁵⁰ Los costos nivelados estimados para las nuevas plantas de generación que entraran en operación en 2022 en Estados Unidos (sin créditos fiscales) reportan el menor costo para la energía geotérmica, seguida de las tecnologías de ciclo combinado, la eólica, la hidroeléctrica y la solar fotovoltaica (EIA, 2016a).

la pena señalar que en el contexto actual de bajos precios del petróleo, la competitividad de las energías renovables para la generación eléctrica queda en entredicho, pues la producción de electricidad a través de hidrocarburos se ha abaratado (Solís, 2015).

Por otro lado, un problema adicional que podría frenar la expansión de las renovables, observado principalmente en los parques eólicos y en las grandes hidroeléctricas⁵¹, es el surgimiento de conflictos relacionados con el uso del suelo e impactos ambientales, sociales, económicos y culturales a nivel local (Guijarro, Lumbreras, Habert, & Guereña, 2009; Ledec, Rapp, & Aiello, 2011; WEC, 2015).

Respecto a la generación nuclear, Leeuwijn y Smith (2003 y 2005, citados en (Trainer, 2007)), analizaron los recursos globales de uranio y los costos energéticos, y concluyeron que hay muy poco uranio con grado suficiente para sostener una era nuclear más allá de pocos años, y que existe una gran cantidad de uranio de baja ley, por lo que extraerlo usaría más energía de la que efectivamente podría proveer. Aunque la industria nuclear rechaza este análisis, los autores consideran que no es posible una era nuclear, a menos que se pueda demostrar que existe algo así como más de cien veces la cantidad de uranio que ellos estiman. Además, consideran que el uso de torio en vez de uranio, no haría una gran diferencia, y que adicionalmente algunos procesos requerirían el uso de plutonio, lo que multiplicaría los riesgos de la generación nuclear. Sobre la seguridad de la generación nuclear, socialmente existen muchas controversias que implican de hecho limitantes en su expansión. De la Vega (2013), por ejemplo, señala que después del accidente de la planta nuclear Fukushima Daiichi, la energía nuclear se ha visto cuestionada nuevamente, cuando parecía recuperarse de Three Miles Island y Chernobyl e incrementar su presencia en los primeros años de este siglo. Algunos gobiernos ya han puesto un freno, Alemania ha decidido eliminarla de su matriz energética hacia 2022, y otros revisan a fondo sus instalaciones y proyectos de expansión y deciden no construir nuevas centrales nucleares, como España y Suecia.

⁵¹ En diversas fuentes de información, las grandes hidros no son consideradas energías renovables por los impactos que causan en los ecosistemas locales.

Respecto a las tecnologías de captura y almacenamiento de carbono, algunas de sus limitaciones son: únicamente aplican para instalaciones de energía fijas, y por lo tanto, solo pueden capturar una fracción del CO₂ generado; no son compatibles con la mayoría de las plantas eléctricas existentes, por lo que habría que esperar cierto tiempo para que las plantas fósiles fueran reemplazadas con plantas fósiles con captura y almacenamiento de CO₂; el proceso de separación incrementa el uso de combustibles fósiles; además son costosas y requieren infraestructura y sitios para el almacenamiento del carbono (Trainer, 2007). Las tecnologías de captura y almacenamiento de carbono aún no se aplican a gran escala y hay preocupaciones en torno a la toxicidad del ciclo de vida de algunos de los solventes usados para la captura, la seguridad operacional, la integridad en el largo plazo del almacenamiento de CO₂ y los riesgos de su transporte (IPCC, 2014b). Captura y almacenamiento de carbono sigue siendo una tecnología experimental, cara y riesgosa, con pocas posibilidades de ser un alivio en el largo plazo (Simms, Johnson, & Chowla, 2010).

Finalmente, los biocombustibles para proveer energía al transporte solo pueden aportar una pequeña fracción de la alta demanda de este sector (Trainer, 2007). Entre las razones que los limitan, se encuentran que los biocombustibles de procedencia agrícola⁵² requieren grandes extensiones de tierra y compiten por el uso del suelo y los recursos hídricos con la producción de alimentos (IPCC, 2012); de hecho, diversos estudios señalan su relación con la escalada del precio de los alimentos que tuvo lugar en segunda parte de la década 2000's (FAO, 2008; Hélaine, M'barek, & Gay, 2013; WB, 2013; Wise, 2012). Mientras que los combustibles no agrícolas aún no constatan su aplicación a gran escala.

Por otro lado, la viabilidad de los biocombustibles para producir energía y evitar la generación de emisiones de GEI es un constante debate y depende en buena medida de la materia prima utilizada, el proceso de producción del biocombustible y sus efectos netos en

⁵² Incluyen fundamentalmente a los de primera generación, pero podrían incluir también a los de tercera generación (Álvarez Maciel, 2009). Los biocombustibles de primera generación se obtienen de cereales, semillas oleaginosas, grasas animales y aceites vegetales de desecho; los de segunda generación utilizan, por ejemplo, residuos agrícolas y forestales compuestos fundamentalmente por celulosa; y los de tercera generación se derivan de materias primas como algas y cultivos energéticos avanzados (IPCC, 2012). Una cuarta generación se encuentra en fase teórica, la cual podría producir biocombustibles a través de bacterias genéticamente modificadas (Álvarez Maciel, 2009).

el uso del suelo. Patzek, *et al.* (2005), por ejemplo, advierten que la producción de etanol a partir de maíz reporta un balance energético negativo y un efecto nulo sobre las emisiones de CO₂. Álvarez Maciel (2009) señala que los biocombustibles de segunda generación presentan poca ganancia en disminución de las emisiones de GEI respecto a los biocombustibles de primera generación. Otros estudios discuten la capacidad real de los biocombustibles para mitigar emisiones si se considera su ciclo de vida completo (Bird, Cowie, Cherubini, & Jungmeier, 2011; IPCC, 2012). Fargione, Hill, Tilman, Polasky y Hawthorne (2008) consideran que el efecto neto sobre las emisiones dependerá de cómo se producen los biocombustibles y muestran que la conversión de selvas tropicales, humedales, sabanas o pastizales para producir biocombustibles a partir de cultivos de alimentos en diversas regiones ha creado una deuda neta de carbono de los biocombustibles. Searchinger, *et al.* (2009), incluso, consideran necesario corregir el marco de la contabilidad de emisiones propuesto por el IPCC y usado en la UNFCCC, ya que éste exime el registro de las emisiones de CO₂ del uso de la bioenergía, asumiendo erróneamente que todas las fuentes de biomasa son neutras en carbono, y contabiliza las emisiones de CO₂ de la producción de biocombustibles en la categoría de cambio de uso de suelo y no en la categoría energía; este enfoque tiene implicaciones sobre los objetivos que se establecen para reducir emisiones relacionadas con la energía, que podrían generar incentivos perversos para la producción de biocombustibles.

1.4.1.3. Un sitio para la demanda en el estudio del cambio climático

Después de la revisión de la forma en la que el enfoque convencional aborda el problema del cambio climático, cabe insistir en el predominio del análisis de la oferta y la poca atención a la demanda en el estudio de las causas del cambio climático y en las estrategias de mitigación implementadas. En otras palabras, el enfoque convencional no visibiliza el papel del consumidor final como generador de emisiones o como posible mitigador de ellas.

En este sentido, vale la pena aclarar que aunque la eficiencia energética es una estrategia que descansa tanto en la oferta como en la demanda, prevalece un rol dominante de la primera. Por un lado, el sector productivo desarrolla nuevas tecnologías para mejorar

el rendimiento energético de aparatos y equipos; así también, adopta tecnologías más eficientes en sus procesos productivos. Por otra parte, los consumidores finales sustituyen el uso de ciertos bienes (lámparas, electrodomésticos, autos, etc.), generalmente “viejos”, por bienes “modernos” que utilizan menos energía para cumplir la misma función o incluso algunas más. Así, la participación del consumidor para reducir la demanda de energía es indispensable, aunque queda ceñida, en cierta medida, por el avance tecnológico y el mercado que le proporciona las opciones para usar bienes y servicios más eficientes. Por lo tanto, el papel de la oferta mantiene un peso fuerte. Pero además, es importante notar que con la eficiencia energética no se considera la demanda total de bienes y servicios finales, sino solamente la demanda de energía.

Respecto a la demanda de energía, junto con la eficiencia energética, existen de hecho otras estrategias que podrían englobarse dentro de lo que se conoce como “gestión del lado de la demanda” (*Demand-Side Management, DSM*). La definición más aceptada de DSM incluye planeación, implementación y monitoreo de aquellas actividades de servicio público diseñadas para influenciar el uso de la electricidad por parte del consumidor, de forma que produzca cambios deseables en la carga del servicio, aunque el concepto puede ampliarse a otras formas de energía y otros actores (Gellings & Parmenter, 2017). Así, el alcance de DSM es amplio, con una variedad de terminología y estrategias difícil de unificar. Algunos de sus programas más representativos son: eficiencia energética, gestión de la demanda eléctrica en horas pico, estrategias de conservación de la energía, generación eléctrica distribuida, redes eléctricas inteligentes (*smart grids*), entre otros, cuyo objetivo es balancear la oferta y la demanda en el sistema energético (Fattahi & Deihimi, 2017).

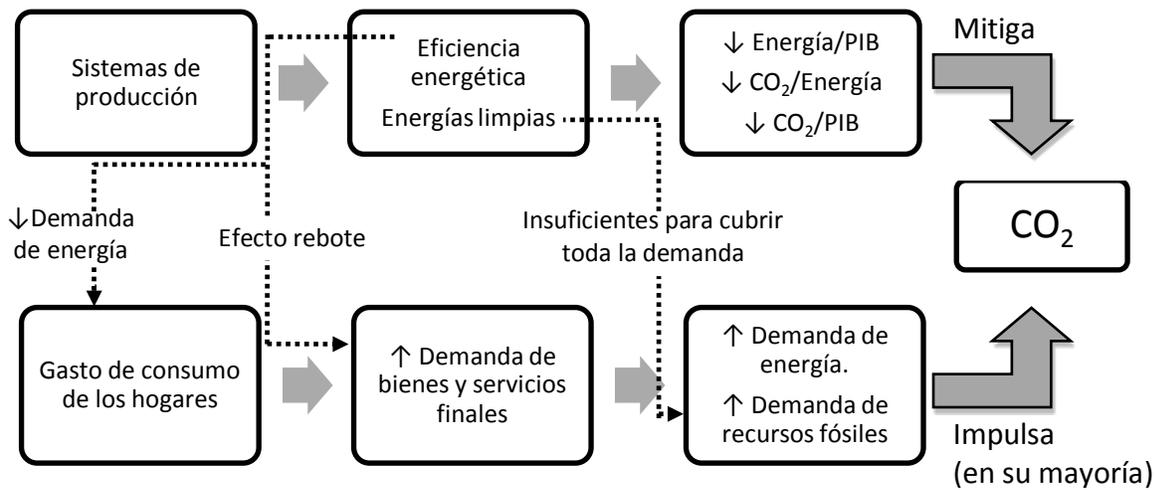
En las estrategias de conservación de la energía, el comportamiento del consumidor es particularmente importante y poco dependiente de otros progresos. La conservación de energía refiere a limitar o reducir el consumo energético mediante cambios en el estilo de vida o el comportamiento. La educación y la capacitación adecuadas son piezas clave para impulsar la conservación de la energía y pueden derivar en una cultura de ahorro de energía que favorezca la trayectoria del consumo energético. Algunos ejemplos de este tipo de medidas son: apagar las luces en las habitaciones que no están siendo ocupadas, utilizar el

transporte público en lugar del automóvil particular, realizar los recorridos en automóvil transitando las rutas más cortas, etcétera (IEA, 2015c; García Ochoa, 2010). “Los comportamientos, elecciones y prácticas energéticamente inteligentes juegan un rol clave en el desbloqueo de fuentes adicionales de ahorro energético, al tiempo que aseguran la permanencia de esos ahorros en el futuro” (IEA, 2015c, pág. 21). Empero, las estrategias de conservación de la energía han tenido una promoción mucho menor que el reemplazo de infraestructura para mejorar la eficiencia energética.

Nótese que, aunque desde el enfoque convencional se estudia la demanda de energía, la demanda total de bienes y servicios finales ha sido prácticamente ignorada, como si ésta no influyera sobre el cambio climático. La idea convencional es generar cambios en los sistemas productivos para evitar tocar los patrones de gasto, defendiendo que la producción ecológica es garantía de consumo sostenible (Brey, 1999). Y aunque las estrategias de mitigación convencionales han evitado la generación de miles de emisiones de CO₂, en términos globales no se ha logrado un punto de inflexión que apunte hacia una reducción significativa en la generación de emisiones. Tanto la eficiencia energética como el aprovechamiento de las energías limpias muestran ciertas limitaciones, resultado de sus propias características y de múltiples y complejas interacciones que van más allá de las posibilidades de inversión o del alcance tecnológico.

Los sistemas de producción interactúan invariablemente con los sectores de consumo y, por lo tanto, la dinámica de uno y otro se retroalimentan mutuamente. Mientras los sistemas de producción aparentemente intentan frenar emisiones, la dinámica de los sectores de consumo (para el caso de esta tesis, los hogares) impulsa dichas emisiones al alza (ver Esquema 1-2). Hasta ahora, el crecimiento de las emisiones de CO₂ ha compensado e incluso rebasado la cantidad de emisiones evitadas por las estrategias de mitigación. El rezago en las metas de mitigación del cambio climático y la urgencia de frenar el fenómeno llaman a flexibilizar el foco de análisis de las causas de las emisiones y las estrategias de mitigación, fijado hasta ahora en gran medida en la oferta, y hacer algo simultáneamente desde la demanda.

Esquema 1-2. Las emisiones de CO₂ en el ciclo económico completo



Elaboración propia.

1.4.2. Enfoques alternativos

Expuestas las dificultades para mitigar emisiones de CO₂ si únicamente se sigue el enfoque convencional, se exploran a continuación enfoques alternativos para analizar el problema del cambio climático desde el lado de la demanda⁵³. Durante la revisión de la literatura, se ubicaron dos perspectivas analíticas de gran utilidad para esta investigación: 1) la responsabilidad de las emisiones de CO₂ puede ser asignada al consumidor mediante el uso de los inventarios de emisiones basados en consumo; 2) la emisión de CO₂ basada en consumo al interior de un país es heterogénea entre hogares (o individuos) y las diferencias podrían estar altamente relacionadas con los niveles de ingreso y los patrones de gasto.

1.4.2.1. Los inventarios de emisiones basados en consumo

Como es bien sabido, los inventarios de emisiones de GEI constituyen una de las herramientas más utilizadas en el análisis del cambio climático. Y aunque estos inventarios no son registros de las emisiones, sino resultados de procesos de modelación, hasta ahora representan los mejores instrumentos cuantitativos para estudiar la trayectoria de las emisiones y los alcances de las estrategias de mitigación.

⁵³ Es importante enfatizar, una vez más, que para los fines de esta investigación, al referir a la demanda se refiere al gasto de los hogares en bienes y servicios finales, y no solo al consumo energético directo (electricidad, gas, otros combustibles para generar calor y combustibles para el transporte), el cual sí ha sido tratado en cierta medida desde el enfoque convencional.

Los inventarios generalmente usados, de hecho adoptados en el marco de la UNFCCC, son los “inventarios de emisiones con enfoque territorial”⁵⁴, que contemplan las emisiones generadas por el sector productivo doméstico y externo dentro de un territorio, usualmente un país, así como las emisiones derivadas directamente del consumo de energía por la quema de combustible (gas, gasolina, diesel, etc.) realizado por los hogares, el sector público y el transporte en el país. Una alternativa a estos inventarios son los denominados “inventarios de emisiones basados en consumo” (*consumption-based emission inventories*), que buscan medir el impacto de la demanda interna de bienes y servicios finales, generalmente de un país, en la generación de emisiones de GEI, principalmente de CO₂. A diferencia de los inventarios territoriales, los inventarios basados en consumo incluyen las emisiones asociadas con la demanda interna de bienes y servicios finales, ya sean energéticos o no energéticos⁵⁵.

Hacia una mejor comprensión de las categorías incluidas en los inventarios de emisiones de CO₂ basados en consumo, es útil reflexionar sobre lo siguiente. La demanda final total de una economía se compone de los bienes y servicios finales que son comprados por los hogares, el sector público, el sector privado y el sector externo ($PIB = C + G + I + XN$). Las exportaciones netas resultan de la diferencia entre las exportaciones y las importaciones ($XN = X - M$), la cual se efectúa debido a que las importaciones son también registradas en los otros componentes del PIB. De tal forma, dentro de la demanda interna están contabilizados tanto los bienes y servicios finales de producción nacional como los importados que son comprados por los hogares, el sector público y el sector privado ($DI = C + G + I$).

Ya que el interés de los inventarios de CO₂ basados en consumo es aproximar el impacto de las actividades de consumo final de un país sobre las emisiones de CO₂, es decir, el impacto de la demanda interna final, tales inventarios contabilizan: 1) emisiones de

⁵⁴ A los “inventarios de emisiones con enfoque territorial” también se les denomina “inventarios de emisiones basados en producción”, empero, aquí se opta por utilizar únicamente el primer término por considerarlo más apropiado, ya que de hecho incluyen una fracción de emisiones relacionadas con el consumo (consumo energético directo) y no solo las emisiones relacionadas con la producción.

⁵⁵ Para una discusión más detallada de la integración de los inventarios, ver, por ejemplo, Aall y Hille (2010).

CO₂ indirectas: las emisiones de CO₂ incorporadas en la demanda interna de bienes y servicios finales (producidos en el país o en el extranjero) realizada por los sectores residencial, público y privado; y 2) emisiones de CO₂ directas: las emisiones de CO₂ derivadas directamente del consumo de energía por la quema de combustible (gas, gasolina, diesel, etc.) como bien final en los sectores residencial y público⁵⁶. Con esta composición, los inventarios de CO₂ basados en consumo excluyen las emisiones de CO₂ generadas en la producción doméstica de los bienes exportados e incluyen las de los bienes importados.

Para realizar estos inventarios se combinan técnicas de la metodología I-P y el análisis de la huella ecológica (Turner, Lenzen, Wiedmann, & Barrett, 2007). En virtud de estar basados en el análisis I-P, estos inventarios muestran consistencia macroeconómica, empero no aportan detalles del tipo de bienes y servicios que incluyen, ni del contenido de carbono específico de cada uno. El enfoque de los inventarios basados en consumo derivó de preocupaciones en torno a la fuga de carbono⁵⁷ y la equidad, asociadas con la estructura de las relaciones comerciales entre países desarrollados y países en desarrollo, y constituye una forma de contabilizar la responsabilidad de emisiones del consumidor (Munksgaard, Minx, Christoffersen, & Pade, 2009). Al menos desde la década de los noventa, el debate en torno a la responsabilidad de las emisiones ha preocupado a estudiosos del tema, en los extremos asignan la responsabilidad al productor o al consumidor, y en los puntos medios se habla de una responsabilidad compartida.

El análisis I-P aplicado a los efectos ambientales asociados con el comercio se remonta al estudio de Walter (1973, citado en (Wiedmann, Lenzen, Turner, & Barrett,

⁵⁶ Las emisiones de CO₂ relacionadas con el transporte se atribuyen a cada sector de consumo, a diferencia de los balances energéticos tradicionales que consideran de forma independiente al sector transporte.

⁵⁷ La fuga de carbono es comúnmente definida por la relación entre el incremento de las emisiones de CO₂ en países que no han suscrito compromisos de mitigación de emisiones, y la reducción de emisiones de CO₂ en países con compromisos de mitigación; es decir que busca determinar el cambio de la producción de países del Anexo B a los países No-Anexo B (clasificación del Protocolo de Kioto), derivado de las políticas climáticas en Anexo B. La literatura que estudia las emisiones incorporadas en el comercio distingue entre la fuga de carbono fuerte (*strong carbon leakage*) y la fuga de carbono débil (*weak carbon leakage*). La primera corresponde a la definición convencional de fuga de carbono. La segunda, considera que la definición “fuerte” ignora el hecho de que la producción en los países No-Anexo B puede incrementar por razones desconectadas de la política climática, y define entonces a la fuga “débil” como las emisiones de CO₂ incorporadas en las importaciones, las cuales fluyeron de países No-Anexo B hacia países Anexo B (Peters & Hertwich, 2008).

2007)), que estimó la contaminación contenida en los productos americanos comerciados⁵⁸. Dos décadas después, emergieron más estudios al respecto, muchos de ellos enfocados en la contabilización de emisiones de carbono contenidas en el comercio internacional; y en los últimos años este interés se ha intensificado⁵⁹, principalmente por la posibilidad que brinda para expandir el alcance de las políticas climáticas y aportar nuevas alternativas en las complicadas negociaciones internacionales (Davis & Caldeira, 2010; Dubois & Ceron, 2015; Peters & Hertwich, 2008).

La mayoría de los estudios iniciales utilizaron modelos I-P de una sola región, en los que se supone que los bienes y servicios importados son producidos con la misma tecnología que la doméstica en el mismo sector, lo cual resta calidad a los resultados, pues las importaciones de un país proceden de variados países y regiones, con tecnologías, estructuras e intensidad de emisiones de producción distintas. Una alternativa a este problema, es el uso del modelo insumo-producto multi-región (*Multi-Region Input-Output, MRIO*), donde países y regiones son distinguidos, y los flujos de comercio internacional están internalizados dentro de la demanda intermedia. La interdependencia entre los sectores externos con tecnología de producción, uso de recursos e intensidad de emisiones diferentes, puede ser cuantificada y los análisis arrojan resultados más específicos. Los modelos MRIO son actualmente más usados, aunque aún presentan algunas debilidades que se espera puedan ser superadas con mayor investigación, como mejoras en la disponibilidad y calidad de los datos, así como en la exactitud de la modelización (Wiedmann, 2009).

Las dimensiones tiempo-espacio de los estudios de contabilidad de emisiones basada en consumo han sido variadas, muchos han hecho análisis en un punto del tiempo y

⁵⁸ Previo al análisis I-P ambiental aplicado, Leontief (1970) fue el primero en exponer cómo la contaminación, un subproducto de la actividad económica, podría ser incorporado al marco convencional I-P.

⁵⁹ Hoekstra (2010, citado en (Tukker & Dietzenbacher, 2013)) refiere más de 300 investigaciones de análisis I-P con enfoque ambiental publicadas entre 1995 y 2010, y señala que a partir de 2005 proliferaron más estudios que analizan la contaminación incorporada en bienes comerciados. Wiedmann, Lenzen, Turner y Barrett (2007) muestran una revisión amplia de estudios, previos a 2007, que mediante análisis I-P evaluaron el impacto ambiental de las actividades de consumo. Wiedmann (2009) examina estudios publicados entre 2007 y 2009, que usan modelos I-P para la contabilidad de emisiones basada en consumo; tan solo en esos dos años, el autor refiere a más de 50 estudios, sin que la revisión sea exhaustiva. De 2009 a la fecha, el desarrollo y divulgación de este tipo de estudios continúa.

para ciertos países o regiones, otros han estudiado periodos largos con un alcance territorial amplio. En la práctica, la contabilidad de las emisiones basada en consumo ha sido difícil de realizar por la cantidad de información requerida y por las variaciones que puede haber en las categorías de actividades, actores, sectores, regiones, países, etc. No obstante, esta línea de investigación ha avanzado y, con los progresos en la cantidad y calidad de la información, cada vez hay más estudios, incluso a nivel mundial. Actualmente hay sets de datos disponibles sobre energía y emisiones a nivel mundial basados en el modelo MRIO⁶⁰, que son utilizados en múltiples investigaciones para redistribuir las emisiones de la producción al consumo. A continuación se describen algunas de estas investigaciones, que muestran contrastes entre la contabilidad con enfoque territorial y con enfoque de consumo.

All y Hille (2010), por ejemplo, citaron tres estudios con diferencias importantes. La contabilidad con enfoque territorial en Reino Unido indica que a partir de 1990 cayeron constantemente sus emisiones de GEI, sin embargo con un inventario basado en consumo (incluye emisiones de transporte aéreo y marítimo internacionales y emisiones incorporadas en las importaciones) se estimó que las emisiones crecieron 19% entre 1990 y 2003. En Suecia, la contabilidad de emisiones de GEI basada en consumo en 2003 fue 33% mayor que la contabilidad con enfoque territorial. Mientras que en Dinamarca en 2001, el inventario de CO₂ basado en consumo fue 20% mayor que el territorial. Por otra parte, una estimación para el caso de Francia reveló que si se considera el enfoque de emisiones territoriales, las emisiones per cápita de cada francés ascendieron a 6.7 toneladas de CO₂ al año en 2005, pero si se considera el enfoque basado en consumo, las emisiones ascendieron a 9 tCO₂/año (Lenglart, Lesieur, & Pasquier, 2010).

Hay también investigaciones recientes a nivel mundial. El estudio de Davis y Caldeira (2010), mediante el método MRIO, contabilizó las emisiones de CO₂ mundiales derivadas de la combustión de fósiles (no incluye emisiones de la oxidación de hidrocarburos no fósiles, combustible para el transporte de los *bunkers* internacionales ni

⁶⁰ Por ejemplo: *Eora* (Lenzen, Moran, Kanemoto, & Geschke, 2013), *EXIOBASE* (Wood, y otros, 2015), *Global Trade Analysis Project, GTAP* (Aguiar, Narayanan, & McDougall, 2016), *OECD Inter-Country Input-Output*, *OECD ICIO* (Wiebe & Yamano, 2016) y *World Input-Output Database, WIOD* (Genty, Arto, & Neuwahl, 2012).

emisiones de GEI no CO₂) y concluyó que en 2004, 23% de las emisiones mundiales de CO₂ fueron comerciadas internacionalmente, principalmente como exportaciones de China y otros mercados emergentes hacia los consumidores de países desarrollados. De acuerdo con este estudio, en términos netos, China fue por mucho el mayor exportador de emisiones, seguido de Rusia, Medio Oriente, Sudáfrica, Ucrania e India, y en un grado menor el Sudeste Asiático, Europa del Este y algunas áreas de Sudamérica. Los principales importadores netos de emisiones fueron Estados Unidos, Japón, Reino Unido, Alemania, Francia e Italia, y en grado menor, los otros países de Europa Occidental, Nueva Zelanda, México, Singapur y otras áreas de África y Sudamérica.

Fernández-Amador, Francois y Tomberger (2016), por su parte, presentaron un set de inventarios de emisiones de CO₂ derivadas del uso de combustibles fósiles que incluyó contabilidad territorial y contabilidad basada en consumo de 78 regiones y 55 sectores para los años 1997, 2007 y 2011. Entre sus hallazgos, los autores encontraron que en términos absolutos las economías más desarrolladas consumen más carbono del que ellas producen; en términos per cápita, los patrones de producción y gasto en países desarrollados son más contaminantes que en países en desarrollo; y finalmente, que la intensidad de carbono del PIB es menor en las economías más desarrolladas.

Chancel y Piketty (2015) estimaron diferencias importantes entre las emisiones de CO₂e per cápita con enfoque de consumo y con enfoque territorial para diversos países/regiones en el año 2013. Sus resultados apuntaron que las diferencias más significativas ocurrieron en Europa Occidental (el mayor importador neto de emisiones) y China (el mayor exportador neto de emisiones).

Wiebe y Yamano (2016) estimaron las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles con enfoque territorial y de consumo de 1995 a 2011 y enfatizaron que la mayoría de los países de la OCDE son importadores netos de CO₂, sin embargo tanto las emisiones territoriales como las de consumo en estos países han disminuido, mientras que en los países no-OCDE han aumentado. Asimismo, señalan que las emisiones de CO₂ por cada peso del PIB en ambos grupos ha disminuido, aunque las disparidades de esta razón y de las emisiones de CO₂ per cápita entre ambos grupo permanece alta.

Por otra parte, el *Global Carbon Project* del CDIAC (Le Quéré, y otros, 2016) contabiliza emisiones de CO₂ derivadas del uso de combustibles fósiles, el venteo de gas y la producción de cemento, y contiene estimaciones de ambos inventarios para el periodo 1990-2014. Sus cálculos apuntan en la misma línea de los otros trabajos referidos: China es el mayor exportador neto de CO₂, mientras que Estados Unidos, Japón y países de Europa Occidental figuran entre los importadores netos más importantes.

Finalmente, el proyecto *The Environmental Footprints Explorer: a Database for Global Sustainable Accounting* de la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología (NTNU, por sus siglas en noruego) sistematiza la información de los cinco modelos de emisiones MRIO más reconocidos a nivel internacional (Eora, EXIOBASE, GTAP, OECD ICIO y WIOD) para reportar, entre otras variables, los inventarios de emisiones territoriales y de consumo por país desde 1990, en una clasificación común que facilita la comparación (Stadler, Lonka, Moran, Pallas, & Wood, 2015).

De tal forma, actualmente se cuenta con información desagregada por país de inventarios de emisiones de CO₂ territoriales y de consumo en series de tiempo, la cual es de gran utilidad para el análisis del gasto de consumo en relación con el cambio climático. El Cuadro 1.1, con base en algunos de los estudios ya señalados, muestra la diferencia entre los inventarios de emisiones territoriales y de consumo para los países o grupos de países que en términos absolutos representan una cantidad importante de exportación o importación neta de emisiones. La diferencia fue calculada como la tasa de crecimiento del inventario de emisiones de consumo con respecto al inventario territorial, expresada en términos porcentuales. Así, los valores positivos expresan que el país o grupo de países es importador neto de emisiones, mientras que los valores negativos indican que el país o grupo es exportador neto de emisiones. Es importante mencionar que dada la variedad de metodologías y fuentes de información, este cuadro no debe leerse como una tendencia en el tiempo, ya que cada columna refleja los hallazgos de diferentes estudios que no estiman estrictamente el mismo contenido.

Cuadro 1-1. Diferencias entre “inventarios de CO₂ basados en consumo” e “inventarios de CO₂ territoriales” (%)

País o Grupo / Año	2003 ^a	2004 ^b	2005 ^b	2009 ^b	2011 ^b	2011 ^b	2011 ^b	2012 ^b	2013 ^b	2013 ^a	2014 ^c
Fuente	Helm, <i>et al.</i> , 2007, citado en Aall y Hille (2010)	Davis y Caldeira (2010)	Lenglart, Lesieur y Pasquier (2010)	WIODr2013, referido en Stadler, <i>et al.</i> (2015)	Fernández-Amador, Francois y Tomberger (2016)	Wiebe y Yamano (2016)	GTAP9, referido en Stadler, <i>et al.</i> (2015)	EXIOBASE3.3, referido en Stadler, <i>et al.</i> (2015)	Eora.v199.82, referido en Stadler, <i>et al.</i> (2015)	Chancel y Piketty (2015)	Le Quéré, <i>et al.</i> (2016)
Alemania		28		20		11	20	3	4		13
China		-23		-22	-15	-13	-15	-16	-16	-25	-13
Estados Unidos		12		12	8	9	9	12	13	13	6
Francia		43	34	43		51	39	41	43		35
India		-7		-3	-3	-7	-3	-4	-11		-9
Japón		22		16	21	16	19	5	14		14
Reino Unido	72	46		18		30	35	23	52		36
Rusia		-19		-22	-11	-32	-10	-15	-19		-15
África										-21	
América Latina										-15	
Europa Occidental										41	
Unión Europea-15					22						
Unión Europea-28											22
Medio Oriente					-6					-8	
Anexo B					8						8
No-Anexo B					-7						-5
OCDE											12
No OCDE											-7

^a Estimaciones de emisiones de CO₂e. ^b Estimaciones de emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles. ^c Estimaciones de emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles, venteo de gas y producción de cemento.

Elaboración propia con base en revisión de literatura.

De la revisión anterior, se concluye que la contabilidad de emisiones basada en consumo es una manera de enfatizar el peso de la demanda interna final en las emisiones de CO₂, así como la desigualdad entre países en la responsabilidad de estas emisiones de acuerdo a sus patrones de gasto y el papel del comercio internacional. Aunque los hallazgos de los inventarios no pueden generalizarse, se observa con frecuencia que los países desarrollados importan emisiones de los países en desarrollo a través de la importación de diversos productos; es decir, que una fracción importante de la producción de los países en desarrollo satisface las necesidades de los países desarrollados, cuyas emisiones hasta ahora solo se consideran responsabilidad del país productor.

Por último, cabe notar que los inventarios de emisiones de CO₂ basados en consumo contabilizan CO₂ incorporado en la demanda final de la economía nacional (consumo de los hogares, gasto de gobierno e inversión) y no solo en el consumo de los hogares. Ivanova, *et al.* (2016) calcularon que en 2007 a nivel mundial, 65% de las emisiones de CO₂e se relacionaron con el consumo de los hogares, 24% con la formación bruta de capital fijo, 7% con el gasto de gobierno, 3% con cambios en los inventarios y 1% con el gasto de organizaciones sin fines de lucro. Mientras que OXFAM (2015) consideró que 64% de las emisiones de CO₂ de consumo a nivel global en 2014 se relacionaron con el sector de los hogares. Aunque estas estimaciones son muy similares, las proporciones pueden variar en el tiempo y entre países, sobre lo cual hasta ahora no existen datos disponibles. Chancel y Piketty (2015), por su parte, consideran que de manera indirecta las emisiones incorporadas en la inversión y el gasto de gobierno finalmente sirven a los hogares, por lo que es válido atribuirles a éstos el total de las emisiones de CO₂ contabilizadas con enfoque de consumo.

1.4.2.2. La desigualdad y el gasto de consumo al interior de los países

A nivel macroeconómico, para estudiar la relación entre el cambio climático y los patrones de gasto por nivel de ingresos al interior de los países, básicamente es posible distinguir dos enfoques: ascendente (*bottom-up*) y descendente (*top-down*). Conforme a la revisión hecha en esta tesis, el primero remonta sus orígenes a los trabajos de Herendeen en la década de 1970's, e investigaciones de este tipo se han desarrollado a nivel nacional, principalmente

en países desarrollados; mientras que del segundo, el primer trabajo es el de Chakravarty, *et al.* (2009), y se han desarrollado otros pocos similares, todos a nivel internacional.

Estudios ascendentes (bottom-up)

El enfoque ascendente aproxima el efecto del gasto de los hogares o individuos por nivel de ingresos a nivel nacional sobre el consumo de energía o la generación de CO₂. En contraste con los inventarios basados en consumo, el enfoque ascendente vincula el cambio climático con el gasto de los hogares únicamente, y no con la demanda interna total (consumo privado, gasto de gobierno e inversión). Con análisis I-P y datos de energía, emisiones de CO₂ y gasto (o ingreso) de los hogares o individuos en diferentes categorías de consumo, los estudios ascendentes convierten el gasto (o ingreso) en unidades físicas de energía consumida o emisiones de CO₂ generadas por individuo o por hogar. Como se verá con mayor detalle más adelante, estos estudios han encontrado una relación directa entre el nivel gasto (o ingreso) y el efecto adverso sobre el cambio climático (mayor consumo de energía o mayores emisiones de CO₂).

Los análisis ascendentes relacionan el gasto (o ingreso) de los hogares con la demanda de energía total (directa + indirecta) o la generación de emisiones de CO₂ totales (directas + indirectas). La energía directa incluye electricidad, combustibles usados en la vivienda y combustibles para el transporte. La energía indirecta es la energía incorporada en bienes y servicios no-energéticos (la energía que se usó durante su proceso de producción). Las emisiones de CO₂ directas e indirectas pueden definirse como se especificó en los inventarios de CO₂ basados en consumo⁶¹, aunque es frecuente que los análisis ascendentes incluyan como parte de las emisiones de CO₂ directas a las emisiones de CO₂ derivadas de la producción de electricidad, por relacionarse con energía directa. Hasta ahora no se ubica una definición rígida para las categorías de energía y emisiones directas e indirectas, los límites entre éstas son definidos en cada estudio, de acuerdo a los propios intereses de la investigación y la información disponible.

⁶¹ Emisiones de CO₂ directas son las derivadas directamente del consumo de energía por la quema de combustible (gas, gasolina, diesel, etc.). Emisiones de CO₂ indirectas son las incorporadas en la demanda de bienes y servicios finales (generadas durante su proceso de producción).

Algunos de estos análisis han estimado las elasticidades gasto (o ingreso) de la energía total o las emisiones de CO₂ totales a nivel per cápita, con el fin de determinar de manera general en qué proporción el cambio en el gasto (o el ingreso) influye en el consumo energético o en las emisiones de CO₂. La mayor parte de los estudios revisados apuntan a una relación inelástica, empero cercana a uno (ver Cuadro 1-2), lo cual sugiere que ante un cambio en el gasto (o el ingreso) de los hogares, la variación en el consumo de energía o las emisiones de CO₂ responde casi en la misma proporción.

Sin embargo, la elasticidad de las emisiones de CO₂ no es estrictamente comparable con la elasticidad de la energía, ni la elasticidad con respecto al gasto es estrictamente comparable con la elasticidad con respecto al ingreso. Lenzen (1998) estimó que la elasticidad de las emisiones de CO₂ es un poco más baja que la de la energía, lo cual denota la existencia de energías limpias; y que las elasticidades con respecto al ingreso son menores que con respecto al gasto, aspecto en el que coincidieron Weber y Matthews (2008), lo cual sugiere que no necesariamente en la proporción que crece el ingreso incrementa el gasto y su consecuente consumo de energía o emisión de CO₂, o bien que cuando crece el ingreso la canasta de consumo es menos intensiva en energía o en CO₂.

Como puede apreciarse en el Cuadro 1-2, la mayor parte de estos estudios se realizaron en la década de 1990's y para países desarrollados. Con las estimaciones disponibles, se observa que la elasticidad gasto-energía oscila entre 0.64 y 1.38, rango en el que los países en desarrollo presentan valores altos (excepto en el estudio de la India de Pachauri (2004), que estima un valor de 0.67 porque incluye el uso de energía no-comercial, en mayor medida utilizada por los hogares más pobres); y que la elasticidad gasto-emisiones de CO₂ es cercana a 1 (entre 0.6 y 0.99) en países desarrollados (no se ubicaron estimaciones para países en desarrollo).

Algunos otros estudios, se han interesado en diferenciar el impacto directo o indirecto del gasto (o el ingreso) en el cambio climático. El Cuadro 1-3 muestra el consumo de energía total y las emisiones de CO₂ totales en diferentes estratos económicos, así como su integración mediante las columnas de porcentaje de energía indirecta y emisiones de CO₂ indirectas. En cada caso se especifican los bienes y servicios asociados con consumo

de energía directa o emisiones de CO₂ directas; así como los que abonan al uso de energía indirecta o generación de emisiones de CO₂ indirectas. Con base en esta información, se advierte que: 1) los hogares o individuos con ingresos más altos consumen más energía o emiten más CO₂ que los de ingresos bajos; 2) la participación de la energía indirecta o las emisiones de CO₂ indirectas como porcentaje de la energía total o las emisiones de CO₂ totales crece en los estratos de mayor ingreso⁶².

Cuadro 1-2. Elasticidad del consumo de energía total y las emisiones de CO₂ totales per cápita con respecto al gasto de consumo de los hogares

País	Año	Elasticidad de la energía	Elasticidad de las emisiones de CO ₂	Referencia
Australia	1993-94	0.74 0.59 ^a	0.70 0.55 ^a	Lenzen (1998)
Australia	1998-99	0.78		Lenzen, <i>et al.</i> (2006) ^d
Brasil (11 ciudades capital)	1995-96	1.01		Cohen, Lenzen y Schaeffer (2005)
Brasil (11 ciudades capital)	1995-96	1.0		Lenzen, <i>et al.</i> (2006) ^d
Dinamarca	1995	0.9	0.9	Wier, <i>et al.</i> (2001) ^d
Dinamarca	1995	0.86		Lenzen, <i>et al.</i> (2006) ^d
España	2000		0.91-0.99 ^b	Roca y Serrano (2007) ^d
Estados Unidos	1960-61	0.85		Herendeen y Tanaka (1976) ^d
Estados Unidos	1972-73	0.78		Herendeen, <i>et al.</i> (1981) ^d
Estados Unidos	2004		0.6-0.8 ^c 0.4-0.6 ^{a,c}	Weber y Matthews (2008)
Holanda	1990	0.83 0.63 ^a		Vringer y Blok (1995)
India	1993-94	0.67		Pachauri (2004)
India	1997-98	0.86		Lenzen, <i>et al.</i> (2006) ^d
Japón	1999	0.64		Lenzen, <i>et al.</i> (2006) ^d
Noruega	1973	0.72		Herendeen (1978) ^d
Noruega	1999-2001		0.88	Peters, <i>et al.</i> (2006) ^d
República de Corea	1980-1990 1990-2000	1.38 0.87		Park y Heo (2007)

^a Elasticidad respecto al ingreso. ^b El rango depende de los supuestos para convertir las emisiones de hogares en emisiones per cápita. ^c El rango depende del modelo utilizado. ^d Citados en Chatravarky, *et al.* (2009).

Actualización de Chatravarky, *et al.* (2009) con base en la literatura referida.

⁶² Existen casos que no encajan completamente en las dos afirmaciones anteriores. De los estudios revisados, el caso excepcional para la afirmación 1 es Iskandar. Los casos excepcionales para la afirmación 2 son Iskandar, Brasil e India rural en el estudio de Parikh, Panda, Ganesh-Kumar y Singh (2009). La alta participación de las emisiones indirectas en la India rural podría explicarse por el hecho de en este estudio no se incluye la biomasa. Muchos de los hogares de la India –principalmente los rurales y más pobres– consumen una gran cantidad de biomasa como energía directa, cuyas emisiones directas no están incluidas como parte de las emisiones totales y, por lo tanto, la participación de las emisiones indirectas crece.

Cuadro 1-3. Energía total o emisiones de CO₂ totales por nivel de ingresos y su composición

Parte 1 de 2

País	Año	Estrato económico	Consumo de energía		Emisiones de CO ₂		Bienes y servicios que consumen energía directa o generan emisiones de CO ₂ directas	Bienes y servicios que consumen energía indirecta o generan emisiones de CO ₂ indirectas	Referencia
			Total (GJ)	Indirecta (% del total)	Total (tCO ₂)	Indirectas (% del total)			
Brasil-11 cds. capital <i>Datos por hogar</i>	1995-96	Ingresos bajos Ingresos altos	32.8 602.2	66 62			Electricidad y gas en los hogares y combustible para autos.	El resto de los bienes y servicios consumidos por los hogares.	Cohen, Lenzen y Schaeffer (2005)
China- hogares urbanos <i>Datos per cápita</i>	2005	Decil I Decil II Decil III Decil IV Decil V Decil VI Decil VII Decil VIII Decil IX Decil X	12.9 16.1 18.4 20.0 22.9 25.0 28.4 31.6 37.1 58.2	52 61 65 69 71 73 75 78 79 84	1.02 1.32 1.52 1.67 1.94 2.14 2.45 2.76 3.26 5.33	61 69 73 77 79 81 82 84 86 89	Carbón, petróleo crudo, gasolina, gas natural y electricidad.	El resto de los bienes y servicios consumidos por los hogares. Supone que la intensidad energética y de CO ₂ de los bienes importados es igual a la intensidad doméstica de bienes similares.	Golley y Meng (2012)
Francia. <i>Datos por hogar.</i>	2005	Quintil I Quintil II Quintil III Quintil IV Quintil V			8.3 11.9 14.9 17.7 22.0	61 / 40 67 / 43 70 / 43 72 / 46 73 / 50	Energía directa en los hogares / Energía directa en los hogares y combustibles en el transporte.	El resto de los bienes y servicios consumidos por los hogares.	Lenglart, Lesieur y Pasquier (2010)
India. <i>Datos per cápita.</i>	1993-94	<u>Urbano</u> Bottom 40% Top 10% <u>Rural</u> Bottom 40% Top 10% <u>Total</u> Bottom 40% Top 10%	6.1 21.9 5.5 14.7 5.6 17.0	52 66 46 62 47 64			Electricidad y combustibles (comercial y no comercial).	El resto de los bienes y servicios consumidos por los hogares. Supone que la intensidad energética de los bienes importados es igual a la intensidad doméstica de bienes similares.	Pachauri (2004)

Cuadro 1-3. Energía total o emisiones de CO₂ totales por nivel de ingresos y su composición

Parte 2 de 2

País	Año	Estrato económico	Consumo de energía		Emisiones de CO ₂		Bienes y servicios que consumen energía directa o generan emisiones de CO ₂ directas	Bienes y servicios que consumen energía indirecta o generan emisiones de CO ₂ indirectas	Referencia
			Total (GJ)	Indirecta (% del total)	Total (tCO ₂)	Indirectas (% del total)			
India. <i>Datos per cápita.</i>	2003-04	Decil I Deciles II y III Deciles IV, V, VI y VII Deciles VIII y IX Decil X			Urbano/ Rural 0.27 / 0.15 0.43 / 0.22 0.81 / 0.34 1.57 / 0.68 4.10 / 1.37	Urbano/ Rural 77 / 94 77 / 95 82 / 95 86 / 94 83 / 91	Energía directa en los hogares (solo comercial) y combustible para autos.	El resto de los bienes y servicios adquiridos por los hogares, sin incluir las emisiones de CO ₂ incorporadas en los bienes de consumo importados.	Parikh, Panda, Ganesh-Kumar y Singh (2009).
Iskandar, Malasia. <i>Datos por hogar.</i>	NE	1001-2000 RM 2001-3000 RM 3001-4000 RM 4001-5000 RM 5001-7000 RM 7001-8000 RM			9.76 10.18 9.58 11.51 9.39 20.14	50 44 39 NE 44 35	Uso de energía en los hogares, viajes personales, vuelos y transporte público.	Operaciones en el hogar y el transporte, alimentos, educación, ropa, servicios recreativos y servicios culturales. Supone intensidades de carbono de bienes de producción doméstica iguales a las de los importados.	Majid, Moeinzadeh y Tifwa (2014)
USA <i>Datos por hogar</i> ^a	1960-61	Hogares pobres Hogares ricos		35 65			Energía directa en los hogares y combustible para autos.	El resto de los bienes y servicios consumidos por los hogares.	Herendeen y Tanaka (1976)
USA <i>Datos per cápita</i> ^b	2008-12	Quintil I Top 2%			12.5 53.5	59 75	Electricidad, gas natural, combustible para calefacción, gas L.P. y gasolina.	El resto de las categorías del gasto (incluyendo vuelos y transporte público).	Ummel (2014)

^a Datos en términos de gastos monetarios. ^b Refiere a emisiones de GEI (t CO₂e); complementa el enfoque ascendente con inventario basado en consumo (enfoque descendente). NE: No especificado. RM: Ringgit o dólar malasio.

Elaboración propia con base en revisión de la literatura referida.

Estudios descendentes (top-down)

En años recientes, con el enfoque descendente se han desarrollado algunos estudios a nivel internacional para asignar la responsabilidad de las emisiones entre individuos de acuerdo a sus niveles de ingreso o gasto. La idea básica de estos estudios es aplicar modelos de elasticidad gasto (o ingreso)-emisiones de CO₂, que suponen un valor de la elasticidad de 1 o cercano a 1 y usan datos del gasto ejercido por los hogares en diferentes estratos económicos (o la distribución del ingreso) y de los inventarios de emisiones de CO₂.

Chakravarty, *et al.* (2009), por ejemplo, desarrollaron un esquema para asignar objetivos de reducción de emisiones con base en el principio “responsabilidades comunes pero diferenciadas”, pero en contraste con la UNFCCC, el principio se aplica entre individuos y no entre naciones. Los autores proponen una regla sencilla para estimar un tope de emisiones individuales globales y con ello encontrar los límites correspondientes de emisiones nacionales agregadas. Con información sobre la distribución del ingreso nacional y la intensidad de carbono de la economía y suponiendo una elasticidad unitaria entre ingreso y emisiones⁶³, calcularon las emisiones individuales al interior de los países, de donde resaltan el hecho de que hay “altos emisores” en todo el mundo, no solo en los países desarrollados, y proponen que sean tratados por igual respecto a la obligación de reducir emisiones, independientemente dónde vivan.

Para encontrar los límites de emisiones individuales y nacionales, por un lado especificaron un objetivo de emisiones (30 GtCO₂ en 2030), y por otro, escalaron la distribución del ingreso (suponiendo que no hay cambios en el tiempo) a las proyecciones de población y emisiones bajo el escenario *Business As Usual (BAU)*. De tal modo, fijaron un tope de emisiones individuales de 10.8 tCO₂/año en 2030, que en el escenario BAU sería rebasado por 1.13 miles de millones de personas en el mundo. La responsabilidad de mitigación de cada nación sería la suma de las emisiones excedentes de los “altos emisores” individuales (*Ibidem*).

⁶³ Los autores justifican el uso de una elasticidad ingreso-emisiones unitaria por considerar que los resultados son bastante insensibles al valor de la elasticidad (realizan estimaciones con elasticidades entre 0.7 y 1.0, rango usual de oscilación); así mismo para mantener la simplicidad del análisis.

Con ligeras adecuaciones a este ejemplo, los autores enfatizaron que la reducción de las emisiones y el alivio de la pobreza son objetivos casi desacoplados. Si se establece un piso de emisiones de 1 tCO₂/año per cápita para la tercera parte de la población con las emisiones más bajas, las consecuencias para las dos terceras partes restantes de la población son pequeñas. El límite de emisiones per cápita se reduciría a 9.6 tCO₂/año y el número de altos emisores ascendería a 1.3 miles de millones de personas. De tal modo, argumentan que para reducir las emisiones es probable que sea preferible la limitación de emisiones de los altos emisores (*Ibidem*).

Grubler y Pachauri (2009) consideraron que el análisis de Chakravarty, *et al.* (2009) descansa en supuestos altamente cuestionables teórica y empíricamente, refiriendo principalmente dos: 1) la distribución del ingreso constante en el tiempo, lo cual contrasta con la curva de Kuznets de desigualdad; 2) la elasticidad unitaria ingreso-emisiones, ya que empíricamente se han encontrado elasticidades diferentes entre países, regiones, estados de desarrollo, etc. Grubler y Pachauri reclamaron el uso de teorías establecidas y datos empíricos sólidos para tener cabida en las negociaciones internacionales.

No obstante, el estudio de Chakravarty, *et al.* (2009) representa una alternativa novedosa para estudiar la importancia de la distribución del ingreso entre individuos en el tema climático, con un alcance territorial más amplio que el ofrecido por los estudios ascendentes, y con la posibilidad de estudiar un periodo de tiempo y no solo un análisis estático. De hecho, estudios posteriores han retomado estrategias metodológicas similares y superado algunos de los inconvenientes advertidos en este primer análisis, como el hecho de que solo incluía emisiones de CO₂ por uso de combustibles fósiles, omitía en el análisis las emisiones incorporadas en exportaciones e importaciones y no tomaba en cuenta la responsabilidad histórica de las emisiones.

Un enfoque que ha logrado incorporar estos elementos es el *Climate Equity Reference Project* (CERP) (EcoEquity; Stockholm Environment Institute, 2015), que deviene de una iniciativa anterior formada en 2004, el *Greenhouse Development Rights (GDR's) Project*. El principio general sobre el que se funda este proyecto es la distribución justa de la carga de las obligaciones para enfrentar el cambio climático, con base en una

combinación de responsabilidades (contribución al problema) y capacidades (posibilidad de pagar) individuales, es decir, bajo el principio “responsabilidades comunes, pero diferenciadas y capacidades respectivas” entre individuos (Baer, 2013).

El CERP calcula un “índice de responsabilidad y capacidad” (RCI, por sus siglas en inglés) para cada nación⁶⁴. Como medida de capacidad utiliza el ingreso per cápita de los individuos dentro de un país, usando los coeficientes de Gini para tomar en cuenta la inequidad. Como medida de responsabilidad utiliza criterios como la fecha de inicio de la responsabilidad en la generación de emisiones⁶⁵, los diferentes tipos y fuentes de emisiones, el propósito de las emisiones, la riqueza o pobreza del emisor (emisiones de supervivencia vs emisiones de lujo, mediante la separación de emisiones en las categorías debajo y encima de un umbral de desarrollo) y los beneficiarios de las emisiones (directos mediante la importación de bienes intensivos en carbono, o indirectos mediante, por ejemplo, externalidades positivas de las actividades intensivas en emisiones) (Baer, 2013).

Bajo el supuesto de elasticidad unitaria entre gasto de consumo y emisiones, el CERP calcula las emisiones de los individuos. Con base en esta estimación distribuye la carga de la descarbonación del desarrollo y propone que ésta sea pagada por aquellos que ya están consumiendo en el nivel de lujo (los emisores debajo del umbral de desarrollo son excluidos de la responsabilidad de descarbonación).

Otro estudio similar es el de Chancel y Piketty (2015), que aunque su objetivo fue buscar opciones para la financiación de un fondo global de adaptación al cambio climático, gran parte de su análisis se centró en la asignación de responsabilidades de emisiones, no solo entre países, sino también al interior de ellos. Los autores utilizaron un modelo de elasticidad ingreso-CO₂e simple entre 1998 y 2013 a nivel mundial (el análisis cubre aproximadamente el 95% del PIB, 90% de la población y ligeramente debajo del 90% de las emisiones de CO₂e); a diferencia del marco del CERP, Chancel y Piketty no analizaron

⁶⁴ En la página <https://calculator.climateequityreference.org/> es posible obtener los RCI de cada nación de acuerdo con criterios definidos por el usuario.

⁶⁵ Ya que fue hasta 1990, con el primer informe del IPCC, que se conocieron los efectos de las emisiones, podría considerarse que a partir de dicho año se contabilizan las emisiones acumuladas (asumiendo que la ignorancia de los efectos de la generación de emisiones justifican la exención de responsabilidad).

la responsabilidad histórica de las emisiones. Los datos del ingreso se basaron en la simulación de la distribución del ingreso al interior de los países en 11 observaciones (una para cada uno de los nueve deciles más bajos, una para los percentiles 90-99 y otra para el 1% más alto), mientras que los datos de CO₂e se basaron en estimaciones con enfoque de consumo. En el modelo de elasticidad simple, utilizaron diversos valores de elasticidad ingreso-CO₂e, desde 0.6 hasta 1.5, aunque el centro de sus resultados está basado en la elasticidad de 0.9, como valor medio de las estimaciones.

Algunos de sus resultados son: los grupos de bajos ingresos de Honduras, Mozambique, Ruanda y Malawi forman parte de los más bajos emisores, con emisiones de 0.1 tCO₂e/año per cápita (resultado similar al de otras estimaciones); el top 1% de los más ricos en Estados Unidos, Luxemburgo, Singapur y Arabia Saudita son los mayores emisores individuales en el mundo, con emisiones anuales per cápita alrededor de 200 tCO₂e (estimación que contrasta con otros análisis, pero que los autores consideran plausible porque en los datos usados para la distribución del ingreso hicieron adecuaciones para mejorar la aproximación del gasto del 1% más rico). Los altos emisores no son exclusivamente estos grupos, ya que altos emisores viven en prácticamente todo el mundo y no exclusivamente en países ricos: el 10% de los mayores emisores vive en todos los países, un tercio de ellos en las economías emergentes. Suponiendo una elasticidad ingreso-CO₂e de 0.9, derivan la regla *ten-fifty*: 10% de los más altos emisores son responsables del 50% de las emisiones; y 50% de los emisores más bajos son responsables del 10% de las emisiones. Finalmente concluyen que la desigualdad de emisiones entre países se ha reducido, mientras que al interior de ellos ha aumentado (*Ibidem*).

Por otra parte, el análisis global de OXFAM (2015) para 2008, con información de la distribución del ingreso (o gasto) a nivel de percentiles y emisiones basadas en consumo, y suponiendo una elasticidad unitaria entre las dos variables, apuntó que el gasto de consumo individual es responsable del 64% de las emisiones mundiales⁶⁶. OXFAM expone amplias diferencias entre ciudadanos ricos y pobres en el nivel de emisiones de carbono

⁶⁶ El resto se atribuye al consumo de los gobiernos, las inversiones (por ejemplo, infraestructura) y el transporte internacional.

derivadas de sus patrones de gasto. El estudio subraya que la desigualdad de las emisiones de carbono no solo se da entre países, sino también al interior de ellos, por lo que no tiene mucho sentido tratar a los ciudadanos como si fueran bloques homogéneos. En la misma línea que el estudio de Chancel y Piketty (2015), OXFAM concluyó que la mitad más pobre de la población mundial genera alrededor del 10% de las emisiones de CO₂ atribuidas al gasto de consumo individual, mientras que el 50% de dichas emisiones puede atribuirse al 10% más rico. Más aún, la huella de carbono⁶⁷ media del 10% más rico es 60 veces superior a la del 10% más pobre; la del 1% más rico podría multiplicar por 175 la del 10% más pobre. En consecuencia, OXFAM (2015) sostiene que los ciudadanos más ricos, independientemente de dónde vivan, pueden y deben contribuir individualmente a reducir sus propias emisiones, modificando para ello su estilo de vida; empero es imposible que den solución a la crisis climática únicamente a través de sus iniciativas voluntarias.

1.5. Enfoques alternativos aplicados al caso de México

El dominio del enfoque convencional para el estudio del cambio climático es también claro en el caso de México. De hecho, como se expondrá en el Capítulo 2, la mayor parte de las estrategias de mitigación que se han implementado en el país han sido gestadas desde dicho enfoque, por lo tanto con mayor énfasis en la oferta. Con respecto a la relación entre la demanda de bienes y servicios de los hogares por nivel de ingresos y las emisiones de CO₂, en los esfuerzos de esta investigación, no se han ubicado estudios de dicha relación en México. No obstante, existen algunos avances en temas colaterales, particularmente con respecto a dos aspectos: 1) la estimación de los inventarios de emisiones de CO₂ basados en

⁶⁷ La huella de carbono (HC) es un concepto con frecuencia referido en los análisis que vinculan a las actividades de consumo con la emisión de CO₂ u otros GEI. Generalmente, en estos análisis se conceptualiza a la HC como la suma de las emisiones de CO₂ (o de GEI) necesarias para la producción de un bien o servicio; lo cual permite escalar la medición en términos de individuos, industrias, actividades, etc. Sin embargo, en la literatura se reconoce la ausencia de una definición de HC comúnmente aceptada, por lo que tampoco hay consenso en su medición y alcance. Mientras las definiciones más simples consideran que la HC de un bien o servicio se integra por las emisiones de CO₂ directas para producirlo; otras más complejas consideran las emisiones y las remociones de GEI del ciclo de vida completo del producto, desde la producción de las materias primas hasta la eliminación final, en línea con la metodología de Análisis de Ciclo de Vida, pero evaluando únicamente la categoría de impacto de cambio climático (Espíndola & Valderrama, 2012; Schneider & Samaniego, 2009). Dada esta diversidad en la interpretación del concepto, en el presente trabajo no se recurre al término “huella de carbono”, salvo que se esté citando a otro autor.

consumo; y 2) el análisis del consumo energético directo y las emisiones de CO₂ directas de los hogares por nivel de ingresos mediante estudios ascendentes centrados en la demanda de energía (no en la demanda total de los hogares).

1.5.1. Inventarios de emisiones de CO₂ basados en consumo de México

Como se ha dicho antes, en años recientes se han desarrollado proyectos e investigaciones de los inventarios de emisiones de CO₂ basados en consumo de alcance global. Éstos calculan las emisiones de CO₂ a nivel nacional para prácticamente todo el mundo, sin embargo, no realizan análisis detallados de cada país. Con respecto a las emisiones de CO₂ asociadas a la demanda interna final de México, diversos estudios han ubicado a México como un importador neto de emisiones de CO₂ en años recientes (Chancel & Piketty, 2015; Davis & Caldeira, 2010; Fernández-Amador, Francois, & Tomberger, 2016; Le Quéré, y otros, 2016; Stadler, Lonka, Moran, Pallas, & Wood, 2015; Wiebe & Yamano, 2016), un hecho que llama la atención por tratarse de un país en desarrollo, ya que, como se ha mencionado, estos países con mayor frecuencia son exportadores netos de emisiones.

Con base en los inventarios que reporta el CDIAC (Le Quéré, y otros, 2016), las emisiones de CO₂ incorporadas en la demanda interna final del país (bienes y servicios finales de consumo de los hogares, gasto de gobierno e inversión) han sido mayores que las emisiones de CO₂ contabilizadas con enfoque territorial, al menos desde 1996 (ver Gráfico 1-3.A). Dicho de otro modo, actualmente la balanza de carbono⁶⁸ de México es deficitaria, y la tendencia parece ir en aumento, salvo en momentos de crisis (ver Gráfico 1-3.B).

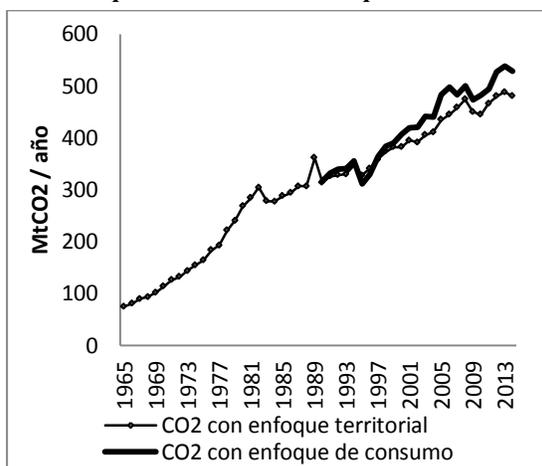
A juzgar por los primeros datos de las emisiones de CO₂ de consumo, es factible suponer que en la segunda parte la década de 1980's la balanza de carbono no era deficitaria o estaba cerca del equilibrio, pero a partir de la implementación de las políticas liberales a la mitad de dicha década, la balanza de CO₂ tiende a disminuir. Dicha tendencia se aprecia ya desde el inicio de los 1990's, pero la crisis de 1994 que provocó una fuerte caída en la importación de bienes de consumo final, indujo también un cambio en la balanza de CO₂, de -11 MtCO₂ en 1993 a 16 MtCO₂ en 1995, con un retorno a la tendencia

⁶⁸ *Balanza CO₂ = CO₂territorial – CO₂consumo.*

a la baja en los años siguientes. Algo similar ocurrió durante la crisis económica mundial reciente, aunque el cambio fue menos pronunciado, de -53 MtCO₂ en 2006 a -27 MtCO₂ en 2008, debido a que en estos años, a diferencia de la crisis de 1994, se registró también una fuerte caída en la exportación de mercancías.

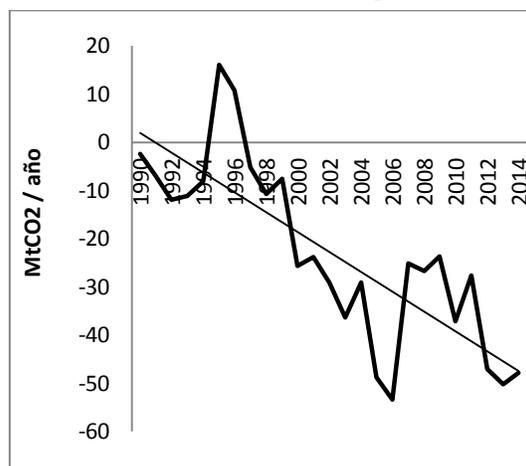
Gráfico 1-3. Trayectoria de las emisiones de CO₂ en México

A. Enfoque territorial vs Enfoque de consumo



Elaboración propia con base en datos de Le Quéré, *et al.* (2016).

B. Balanza de CO₂



Elaboración propia con base en datos de Le Quéré, *et al.* (2016).

Resulta paradójico que a partir de la adopción del modelo de crecimiento basado en exportaciones en México, la balanza de carbono tienda a ser deficitaria y no siga los patrones de economías en desarrollo con actividad exportadora importante. Esta situación se explica por diversos factores. La apertura comercial de México ha significado no solo un gran incremento en las exportaciones, sino también un incremento importante en las importaciones, tanto de bienes de consumo final, como de bienes intermedios. De los bienes de consumo final que se importan, la mayor parte proviene de la industria manufacturera, por lo que el contenido de carbono incorporado en estos es significativo, lo cual lleva al alza al inventario de CO₂ basado en consumo.

De los bienes importados intermedios, muchos de ellos solo entran al país para ser ensamblados y después exportados como bienes finales o para integrarse nuevamente en las cadenas de producción globales. De tal modo, la parte del proceso de producción en México de los bienes a exportar no es realmente intensiva en carbono, el mayor contenido de carbono de esos bienes está dado desde el proceso productivo en los países que

fabricaron los bienes intermedios. Puyana (2017) señala que el efecto maquila dispara la elasticidad ingreso de las importaciones, de manera análoga cabe afirmar que el efecto maquila dispara la importación de carbono, y este carbono sale del país incorporado en los bienes finales exportados, lo que no afecta al inventario basado en consumo, sino más bien caracteriza a la actividad productora de bienes exportables como una actividad de bajo carbono, lo que frena el aumento en las emisiones de CO₂ en el inventario territorial.

Cambios estudiados en el inventario territorial confirman esta idea. Gale (1995, citado en (Wiedmann, Lenzen, Turner, & Barrett, 2007)), por ejemplo, estimó el efecto de la participación de México en el TLCAN sobre las emisiones de CO₂ y señaló un aumento de 12% en las emisiones de CO₂ mexicanas, pero que la mitad de ese incremento sería compensado por cambios en la estructura de la producción hacia sectores menos intensivos en carbono. Por otra parte, Fernández-Amador, Francois y Tomberger (2016), además de calcular inventarios de CO₂ territorial y con base en consumo, estimaron un tercer inventario al que denominaron de “producción final”, el cual contabiliza las emisiones de CO₂ contenidas en la producción final de un país. En sus estimaciones de 1997, 2007 y 2011, no sorprende que en México, el inventario de producción final sea el más alto de los tres inventarios calculados, seguido del de consumo y finalmente del territorial, excepto en 1997 que el territorial fue mayor que el de consumo.

1.5.2. La demanda de energía de los hogares por nivel de ingresos en México

El estudio del gasto de los hogares mexicanos por nivel de ingresos y sus posibles efectos sobre cambio climático se ha aproximado mediante el análisis de la demanda de energía directa. En los estudios revisados, básicamente se atendieron tres variables de los hogares por nivel de ingreso: gasto monetario en energía, consumo energético directo en unidades físicas y emisiones de CO₂ derivadas del consumo energético directo.

Rosas Flores, Sheinbaum y Morillón (2010) estimaron el consumo energético (electricidad, gas L.P. y gas natural) de los hogares mexicanos por decil de ingresos en 1996 y 2006 mediante el análisis de la saturación de aparatos por hogar. Los autores utilizaron datos de la ENIGH sobre la saturación de los principales electrodomésticos en el hogar (estufa, calentador de agua, refrigerador, TV, lavadora y aire acondicionado) e

iluminación, así como datos del consumo de energía por equipo de acuerdo a diversas fuentes⁶⁹. Sus resultados apuntaron a que la mayor parte de la energía fue consumida por los estratos de mayor ingreso y que entre 1996 y 2006 la concentración aumentó: en 1996 los cuatro deciles de menor ingreso consumieron 22.6% de la energía y el decil X consumió 15.5%; en 2006 estas participaciones fueron de 20.8 y 16.9%, respectivamente. A partir de estos datos los autores derivaron también las emisiones de CO₂ asociadas con el consumo de energía por estrato económico y encontraron que en 1996, 21% de dichas emisiones fueron generadas por los cuatro primeros deciles y 16.6% por el decil X; en 2006, los porcentajes fueron 20 y 17.8%, respectivamente.

Rosas Flores (2011) hizo estimaciones con la metodología de consumo de energía inferido por el gasto para analizar el consumo de electricidad, combustibles de uso final en el hogar (gas L.P., gas natural y queroseno) y gasolina, en los sectores rural y urbano por nivel de ingresos, también en 1996 y 2006. Para el consumo de energía en el hogar, el autor utilizó los datos de gasto monetario por fuente energética proporcionados por la ENIGH por nivel de ingresos, el precio de la electricidad y los combustibles⁷⁰ y el poder calorífico de cada energético, para así determinar el consumo de energía total en una misma unidad física. En los hogares urbanos, en 1996 los deciles I, II, III y IV consumieron 24% de la energía en el hogar, la misma proporción fue consumida solo por el decil X; para el 2006 estos porcentajes cambiaron a 21 y 26%, respectivamente. En los hogares rurales, los porcentajes en 1996 fueron de 18 y 25%, respectivamente; en 2006 de 17 y 25%, respectivamente. En cuanto al consumo de gasolina, el autor estimó el consumo en litros de combustible y encontró que en el sector urbano en 1996, el decil X consumió en promedio 21.5 veces más gasolina per cápita que el decil I; mientras que en el sector rural tal diferencia se ubicó en más de 2700 veces. Para 2006 en el ámbito urbano, el decil con mayores ingresos consumió casi 27 veces más gasolina per cápita que el decil de menores ingresos; en el ámbito rural esa diferencia ascendió a 352 veces.

⁶⁹ Suponen que el consumo energético por equipo es constante en el tiempo y homogéneo entre estratos económicos.

⁷⁰ Solo consideró una tarifa eléctrica y un precio de combustible en todo el territorio.

Sánchez Peña (2012a; 2012b), interesada también en la relación entre el nivel de ingresos y el consumo energético, analizó el consumo de energía en los hogares (electricidad, gas natural, gas L.P., petróleo, leña y carbón) mediante la construcción de una variable de consumo energético inferido por el gasto, similar a la usada por Rosas Flores (2011). Sus resultados muestran una relación positiva entre el consumo energético y el nivel de ingreso en México. Con información a nivel de deciles para el caso de México, la autora estimó que en 2008 el consumo energético aumentó lentamente entre los primeros deciles (I al V), mientras que se incrementó más rápidamente entre el sexto y el octavo, luego mostró un rápido incremento al decil noveno, y finalmente un abrupto incremento para el último decil. Asimismo, calculó un índice de Gini del consumo energético de 0.595, valor más alto que el Gini de la desigualdad del ingreso (Sánchez Peña, 2012b). En 2010, con datos a nivel de percentiles, Sánchez Peña verificó fuertes contrastes en el país: en las zonas urbanas, el consumo de energía per cápita en los hogares de ingresos altos (arriba del percentil 90) fue de 4,148 megajoules por trimestre (MJ/trimestre), mientras que en los hogares pobres (menores al percentil 40) fue de 1,079 MJ/trimestre; por su parte, en las zonas rurales el contraste fue aún mayor, 4,996 MJ/trimestre de consumo energético per cápita en los hogares ricos y 772.4 MJ/trimestre en los hogares pobres. El consumo energético mexicano en 2010 estuvo concentrado en los hogares de altos ingresos: el 10% de los hogares más ricos consumieron alrededor de 25% de la energía residencial (Sánchez Peña, 2012a).

Cruz Islas (2012), con una investigación más extensa, analizó los factores (objetivos y subjetivos) que determinan el consumo energético en los hogares. Entre los factores objetivos incluyó aspectos de orden territorial y geográfico (clima, grado de urbanización, nivel de desarrollo económico), características sociodemográficas (estrato de ingreso, tamaño, edad y sexo del jefe del hogar), características y condiciones del equipamiento de la vivienda (refrigerador, calentador, estufa) y fuentes disponibles de energía. En los factores subjetivos señaló las actitudes, gustos y preferencias de los miembros del hogar en el marco de la construcción social particular del consumo.

En un primer análisis, para el caso de México en 2008, Cruz Islas utilizó datos de la ENIGH y encontró que el gasto promedio en energía (electricidad, gas L.P., gas natural, leña, velas y veladoras y otros combustibles) muestra una tendencia positiva con el ingreso, aunque con variaciones entre uno y otro energético. Como segundo análisis, el autor transformó los datos del gasto en electricidad, gas y leña en el hogar en kilowatts-hora (kWh) de energía consumida⁷¹, e igualmente, encontró una clara relación positiva entre el consumo de energía y el nivel de ingreso: en los hogares del quintil V el consumo promedio de energía fue 66% mayor en comparación con el quintil IV, poco más del doble que en los hogares del quintil III, 2.5 veces más que en los hogares del quintil II y 3.4 veces más que en los hogares del quintil I (*Ibidem*).

Posteriormente, mediante modelos de regresión logística bivariada, Cruz Islas buscó determinar la trascendencia de diversos factores en el consumo de energía. Como variables dependientes utilizó el consumo energético por hogar y por miembro del hogar; como variables independientes las características sociodemográficas de los hogares; y como variables de control las del contexto geográfico en donde se ubican los hogares. Sus resultados arrojaron que es más probable que exista un consumo alto de energía, por hogar y también por miembro del hogar, en los quintiles de ingreso superior respecto al primero, y que la probabilidad es notablemente más alta en el quintil V, por lo que considera a éste como foco de atención prioritaria para la política pública encaminada a fomentar prácticas menos consumidoras de energía (*Ibidem*).

Para captar factores más detallados y subjetivos que influyen en el consumo energético en los hogares y que no pueden derivarse de la información de la ENIGH, Cruz Islas realizó un estudio de caso en la Zona Metropolitana de Pachuca (hogares urbanos con consumo energético medio-alto), en el que incluyó aspectos como antigüedad y características de los electrodomésticos, prácticas domésticas asociadas al consumo de energía, percepciones sobre el consumo de energía, percepciones sobre estrategias de ahorro de energía y conocimiento sobre el cambio climático. Algunos de los resultados del

⁷¹ Considera la variación del precio del combustible al consumidor final en el territorio nacional y las tarifas de electricidad para uso doméstico.

estudio de caso señalan que: la mayor parte de los electrodomésticos eran obsoletos en términos de eficiencia energética⁷²; el 79% de los hogares consideró efectuar prácticas adecuadas de consumo de electricidad y gas; 78% declaró tener razones para reducir el consumo de energía, 70% económicas y 8% ambientales; el 74% de los hogares mostró un conocimiento aceptable del cambio climático; un porcentaje muy alto de los hogares declaró aceptación a las estrategias de ahorro de energía, pero las prácticas contrastaron con tal declaración⁷³. De los resultados, el autor concluye que las consideraciones subjetivas como la comodidad, el placer y la satisfacción, tienen mayor peso en las decisiones de consumo energético que la racionalidad económica o ambiental (*Ibidem*).

Navarro (2014), a diferencia de los estudios anteriores, se centró únicamente en el estudio del gasto monetario. Examinó la distribución del gasto corriente monetario en energía en los hogares (electricidad, gas, petróleo diáfano, carbón, leña, velas y veladoras y combustibles derivados de residuos) por deciles de ingresos en México entre 1968 y 2010, así como la participación del gasto energético en el gasto total en cada decil. Con respecto a la distribución del gasto energético, encontró que este gasto se concentró en los estratos de mayor ingreso: aproximadamente una cuarta parte del gasto energético total fue efectuado por el decil X. La autora explica tal fenómeno por el hecho de que cuando hay altos ingresos, se amplía la posibilidad de adquirir más equipos que requieren energía para funcionar, por lo que ocurre un incremento del consumo de energía y su correspondiente gasto monetario.

Por otro lado, con la estimación de los coeficientes de Gini para la distribución del gasto energético, halló que esta distribución fue más aceptable que la distribución del gasto total o la del ingreso. En cuanto a la distinción urbana-rural, la desigualdad del gasto

⁷² Los siguientes datos muestran el porcentaje de aparatos con consumo energético bajo, medio y alto, respectivamente, en la muestra del estudio de caso. Estufas: 23, 43 y 34%; micro-ondas: 21, 64 y 15%; refrigeradores: 26, 61 y 13%; calentadores de agua: 19, 48 y 33%; lavadoras: 40, 43 y 17%; planchas: 62, 30 y 8%; TV: 34, 63 y 3%; y aparatos de sonido: 34, 43 y 23%.

⁷³ 88% de los hogares aceptó la estrategia de sustitución de focos, solo 40% de los hogares usaban focos ahorradores; 96% consideró adecuada la recomendación de apagar la luz al salir de la habitación, 28% no lo hacía; 87% declaró aceptar el uso eficiente de la regadera, pero solo 20% practicaba baños de corta duración; 67% percibió conveniente el uso moderado de la TV, solo 28% la utilizaba 14 horas o menos a la semana.

energético fue más pronunciada en las zonas rurales. Y en cuanto al tipo de energéticos, la concentración en los deciles de mayor ingreso fue en el gasto de electricidad y gas, mientras que los deciles de menor ingreso concentraron mayor proporción del gasto en petróleo diáfano, carbón y leña. Con respecto a la participación del gasto en energía de los hogares en el monto total de su gasto, sus resultados apuntan a que este gasto se incrementó de manera general a través del tiempo (la participación promedio aumentó del 3% en 1968 a poco más del 5% en 2010); y que la participación del gasto en energía en el gasto total disminuyó conforme aumentó el nivel de ingreso de los hogares (*Idídem*).

En un estudio posterior, Cruz Islas (2016) analizó los determinantes del consumo de energía en los hogares en el Distrito Federal en 2008, donde incluyó la estimación de un proxy del volumen de emisiones de CO₂ asociado con el consumo de energía en los hogares. Con los datos de la ENIGH ampliada para el Distrito Federal y una metodología similar a la de su investigación de 2012 en el ámbito nacional, el autor derivó una relación positiva entre el consumo de energía y el nivel de ingreso. Para la estimación del volumen de emisiones, usó los factores de emisión propuestos por el IPCC⁷⁴ y concluyó que es más probable encontrar un volumen alto de emisiones de CO₂ en los hogares ubicados en los estratos de mayor ingreso.

Chapa y Ortega (2017), con base en datos de la ENIGH, estimaron que en México en 2008 los hogares no-pobres⁷⁵ urbanos y rurales ejercieron la mayor parte del gasto monetario en energía como proporción del gasto total en cada energético: 70% en diesel, gas y otros petroquímicos, 86% en gasolina y 87% en gas natural. Posteriormente, con base en estos resultados y con datos de la WIOD, estimaron que las mayores emisiones de CO₂ se relacionaron con familias no-pobres en área urbana (65%), seguidas de las familias no-pobres en área rural (16%). Finalmente, a través de una matriz de contabilidad social, estimaron que los hogares más pobres mostraron mayores multiplicadores de CO₂ que los

⁷⁴ Hasta antes del Inventario Nacional de Emisiones de 2013 (INECC-SEMARNAT, 2015) que incluyó algunos factores de emisión propios, los inventarios nacionales utilizaron sistemáticamente los factores de emisión de las directrices del IPCC.

⁷⁵ Utilizaron la clasificación de pobreza anteriormente usada por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL): pobreza alimentaria, pobreza de capacidades, pobreza de patrimonio y no-pobres.

hogares no-pobres, es decir, que a pesar de que sus emisiones fueron menores, su impacto en CO₂ por unidad monetaria de ingreso fue mayor que la de los no-pobres.

Los multiplicadores estimados para familias en pobreza alimentaria, de capacidades, de patrimonio y no-pobres en zonas urbanas fueron de: 83, 79, 81 y 67 kilo-toneladas de CO₂ por cada mil millones de pesos (ktCO₂/MMM\$) de incremento en el ingreso de cada grupo, respectivamente. En las zonas rurales, en el mismo orden, los multiplicadores fueron: 79, 78, 77 y 61 ktCO₂/MMM\$. Estos multiplicadores incluyeron efectos directos (mayor uso de combustibles), efectos indirectos (mayor demanda de insumos en otras ramas) y efectos inducidos (se transmiten al resto de la economía por el incremento en las rentas como consecuencia de los efectos anteriores). Los dos últimos, representaron entre el 80 y el 90% del efecto multiplicador (*Ibidem*).

Recientemente, Jiménez y Yépez-García (2017) analizaron los *drivers* del gasto monetario en energía en los hogares en América Latina, incluyendo electricidad, gas y combustibles para el transporte. Para el caso de México en 2014, estos autores señalaron que el gasto monetario en energía en los hogares fue mayor en los estratos de más altos ingresos, aunque la participación de este gasto como proporción de su gasto total fue menor en estos mismos estratos altos. Pero en el caso del gasto en combustibles para transporte, Jiménez y Yépez-García advirtieron que la participación de este gasto como proporción del gasto total fue mayor en los estratos altos. De hecho, los autores sugieren que dados estos contrastes, la curva del gasto en todos los combustibles como proporción del gasto total por nivel de ingresos tiende a tener forma de “S”.

Más allá de esta evidencia empírica, los autores estimaron la correlación neta entre participación del gasto energético en el gasto total y en el ingreso, tomando en cuenta covariables que podrían afectar el gasto energético⁷⁶, y con ello trazaron curvas de Engel energéticas condicionadas. Estas curvas revelan una relación directa entre el ingreso y el gasto energético de las tres fuentes de energía, aunque con una pendiente más pronunciada

⁷⁶ Las covariables se relacionan con el análisis de economías de escala (otro de los focos de atención de este estudio) e incluyen: edad de los integrantes de la familia, tamaño de la familia, área urbano-rural, tamaño de la vivienda, equipamiento, propiedad de vehículos, propiedad de vivienda.

para el gasto en combustibles para transporte. Revelan también, en contraste con el análisis no-condicionado, que la proporción del gasto energético de cada combustible en el gasto total tiende a reducirse conforme aumenta el nivel de ingreso, incluso en el caso de los combustibles para el transporte (*Ibídem*).

Por otra parte, Jiménez y Yépez-García estimaron la elasticidad ingreso-gasto energético en electricidad, gas y combustibles para el transporte en diferentes puntos de la distribución del ingreso, mediante una función polinomial. En México en 2014, los promedios de dichas elasticidades fueron 0.341, 0.357 y 0.759, respectivamente. La alta elasticidad ingreso-gasto en combustibles para el transporte, sugiere la compra de un bien no-necesario. Por otra parte, los cambios en las elasticidades de acuerdo al nivel de ingreso no son especificadas para el caso de México, pero del análisis general para América Latina, los autores apuntaron que la elasticidad ingreso-gasto energético es directa, pero no lineal. La elasticidad ingreso-gasto en electricidad es creciente, hasta un punto que la tasa de crecimiento se estabiliza en el percentil 75; la elasticidad ingreso-gasto en gas tiende a decrecer; y la elasticidad ingreso-gasto en combustibles para transporte crece hasta el percentil 25 y después declina para segmentos más ricos (*Ibídem*).

En resumen, todas las investigaciones revisadas han encontrado una relación directa entre el nivel de ingreso de los hogares y algún impulsor del cambio climático (gasto en energía, consumo energético o emisiones de CO₂ derivadas del consumo energético). Una relación directa indica que a mayor ingreso del hogar, mayor es la variable en cuestión. Sin embargo, algunos de estos análisis han indicado que tal relación no es perfectamente lineal. Por ejemplo, el gasto en energía como proporción del gasto total decrece a medida que los ingresos de los hogares son mayores (Jiménez & Yépez-García, 2017; Navarro, 2014); y el crecimiento del ingreso en los hogares de más altos ingresos tiene un impacto menor sobre el incremento de las emisiones de CO₂ que cuando se registra crecimiento en el ingreso de los hogares de menores ingresos (Chapa & Ortega, 2017).

1.6. Conclusiones

En la economía clásica, el estudio de la interacción entre la actividad económica y la naturaleza constituyó una preocupación fundamental, ya que se consideró que la naturaleza

podría limitar el crecimiento de la economía. Sin embargo, a partir de la instalación de la teoría neoclásica como el *mainstream* económico, la preocupación por los recursos naturales y el medio ambiente en la ciencia económica no se consideró un tema central. Al paso del tiempo, la ciencia económica volvió en cierto sentido su mirada a la naturaleza, principalmente por problemas económicos relacionados con los recursos y el medio ambiente, como la crisis de los precios del petróleo en la década de 1970's. Surgieron entonces ramas de la economía que explícitamente estudian cuestiones medioambientales, en las que, a pesar de distinguirse varios enfoques, la teoría neoclásica ha predominado.

Así, el tratamiento de los temas ambientales en economía se ha caracterizado por conservar raíces neoclásicas, donde prima el libre mercado y se busca la asignación eficiente de los recursos productivos para tener resultados óptimos en el sentido de la maximización de la satisfacción de los consumidores. Dada la complejidad y permanencia de los problemas ambientales, que no han podido resolverse con la actuación del mercado, la perspectiva puramente neoclásica se ha modificado en una especie de *mainstream* ampliado, el cual reconoce la existencia de fallas de mercado y legitima la intervención del Estado e inclusive de la comunidad internacional. En este marco, se considera que tal intervención debe ser de corto plazo, lo que permitirá restablecer el equilibrio de la economía y posteriormente continuar la senda del mercado eficiente y competitivo.

La mayor parte de la investigación del cambio climático, así como el diseño e implementación de estrategias y políticas públicas para mitigarlo, han seguido este “enfoque convencional”, cuya idea subyacente es que la tecnología, el financiamiento y las políticas públicas (en caso necesario y de corto plazo) posibilitan la compatibilidad entre el crecimiento económico y la mitigación del cambio climático. Para mitigar emisiones de CO₂, este enfoque se centra fundamentalmente en el lado de la oferta (actividades y actores relacionados con los sistemas de producción) mediante la aplicación de estrategias como la eficiencia energética y el aprovechamiento de energías limpias, que contribuyen a reducir las intensidades energética y de carbono, respectivamente, y así a desacoplar la actividad económica de las emisiones de CO₂.

Dichas estrategias han evitado la generación de miles de emisiones de CO₂, no obstante, enfrentan también múltiples dificultades y muchas de ellas van más allá de las posibilidades de inversión o del progreso tecnológico. En los hechos, hasta ahora las estrategias de mitigación convencionales no han logrado un punto de inflexión que lleve a las emisiones de CO₂ a la baja. A la luz del alcance insuficiente de estas estrategias y dada su interacción con la demanda —usualmente invisibilizada— resulta oportuno y prudente extender el foco de atención a ésta, como una alternativa para analizar las causas de las emisiones y complementar las estrategias de mitigación usualmente aplicadas. En este trabajo, se ubicaron dos enfoques alternativos para estudiar el problema climático desde el lado de la demanda:

1. La contabilidad de emisiones con base en consumo (alternativa a la contabilidad territorial generalmente usada), que cuantifica la influencia del gasto de consumo de los países sobre el cambio climático y permite distinguir diferentes patrones de emisiones entre ellos. Fundamentalmente, los inventarios de emisiones basados en consumo revelan que gran parte de los países desarrollados son importadores netos de emisiones, mientras que los países en desarrollo tienden a ser exportadores netos de emisiones, debido a que los flujos de comercio internacional incorporan emisiones en los productos comerciados. En algunos casos, los inventarios de emisiones con base en consumo presentan fuertes contrastes con los inventarios territoriales, lo que invita a una reflexión más profunda sobre la trayectoria de las emisiones en diversos países y su responsabilidad de las emisiones de acuerdo a sus actividades (producción-consumo), lo cual podría dar lugar a opciones novedosas en las complicadas negociaciones internacionales.
2. La desigualdad económica al interior de los países induce contrastes en los patrones de gasto entre hogares (o individuos) y, en consecuencia, en sus niveles de emisiones. Los análisis cuantitativos desarrollados en torno a este tema, ya sea con estimaciones ascendentes (*bottom-up*) o descendentes (*top-down*), han estudiado la relación entre el nivel de ingreso (o gasto) de los hogares (o individuos) y el consumo de energía total (directa + indirecta) o las emisiones de

CO₂ totales (directas + indirectas). Con metodologías y alcances territoriales muy diferentes, estos estudios coinciden en señalar que los hogares o individuos con ingresos más altos consumen mayor energía o emiten más CO₂ que los de ingresos bajos.

Finalmente, en torno al caso de México, igualmente ha predominado el estudio del cambio climático del lado de la oferta. No obstante, existen algunos avances en torno al rol de la demanda. Por una parte, hay estimaciones de inventarios de emisiones de CO₂ basados en consumo, los cuales apuntan a que México es actualmente un importador de emisiones de CO₂, aspecto que refuerza la importancia de analizar con mayor detalle el consumo del país y sus posibles efectos en el problema climático. Por otro lado, diversas investigaciones han analizado ciertos impulsores del cambio climático (gasto en energía, demanda de energía directa o emisiones de CO₂ derivadas del consumo energético) en los hogares por nivel de ingresos. Sus resultados sugieren una relación directa no lineal entre el nivel de ingresos y las variables mencionadas.

2. LAS ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN EN MÉXICO Y LA TRAYECTORIA DE LAS EMISIONES DE CO₂ POR CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES

2.1. Introducción

Desde los primeros esfuerzos a nivel internacional para atender el problema del cambio climático, México ha enfatizado una postura proactiva para enfrentar el fenómeno. Se adhirió a la UNFCCC en 1992, en el mismo escenario en el que la Convención fue creada. En 1998 firmó el Protocolo de Kioto, recién adoptado en 1997, y lo ratificó en el 2000, varios años antes de que entrara en vigor debido a las dificultades en las negociaciones internacionales. En 2010, Cancún fue la sede de la COP 16, donde se reactivó el proceso de negociación que un año antes se había quedado atorado en Copenhague y se estableció limitar el incremento de la temperatura debajo de los 2°C, crear el Fondo Verde de Financiamiento y avanzar en la transferencia de tecnología. En el proceso *ex ante* de la COP 21, el 27 de marzo de 2015, México fue el primer país en desarrollo en comunicar al Secretariado de la UNFCCC su Contribución Prevista y Determinada Nacionalmente (INDC, por sus siglas en inglés) (Gay & Rueda, 2012; INECC, 2010; Naciones Unidas, 2014; SEMARNAT, 2015).

De acuerdo al gobierno mexicano, estas y otras acciones han colocado a México en el escenario global como un país en desarrollo sobresaliente para hacer frente al cambio climático, a pesar de que sus emisiones de bióxido de carbono por uso de combustibles fósiles apenas representan una pequeña fracción de las emisiones a nivel mundial (1.4% en 2015 (IEA, 2017a)). Sin embargo, como se mostrará en este capítulo, las estrategias puestas en práctica en el país para mitigar emisiones de CO₂ —alineadas al enfoque convencional descrito en el capítulo anterior y centradas en las emisiones que se generan al interior del país (contabilidad territorial)— han sido insuficientes y no han logrado cambios significativos en la trayectoria de dichas emisiones, de hecho, éstas continúan al alza.

Para tal demostración, el capítulo se organiza en tres secciones que siguen a esta introducción. La sección 2.2 muestra los cambios en el marco legislativo que han impulsado a las principales estrategias de mitigación del cambio climático implementadas

en el país —generación eléctrica limpia y eficiencia energética—, así como el alcance de éstas. Aunque las políticas de mitigación del cambio climático en México comenzaron a aplicarse después de su adhesión a la UNFCCC y sobre todo ya en el siglo XXI, el análisis que aquí se presenta para la generación eléctrica limpia y la eficiencia energética incluye datos para el periodo 1965-2015, esto con la intención de examinar cómo se desempeñaban los sectores hoy involucrados en la mitigación del cambio climático antes de que se aplicaran las políticas para reducir las emisiones de carbono.

Posteriormente, la sección 2.3 estudia la trayectoria de las emisiones de bióxido de carbono en México entre 1990 y 2015. Por la naturaleza de dichas estrategias (diseñadas para reducir emisiones por uso de combustibles fósiles derivadas del sector productivo, del sector energético y del consumo directo de energía), el análisis se realiza con base en los inventarios de emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles con enfoque territorial, para lo cual se usa el INEGyCEI más reciente (INECC-SEMARNAT, 2018).

Finalmente, en la sección 2.4 se apuntan a modo de conclusiones los principales hallazgos del capítulo.

2.2. Las estrategias de mitigación en México

Desde que México asumió el compromiso de atender el problema del cambio climático, el país ha subrayado su disposición para colaborar con la comunidad internacional, pero también su posición como país en desarrollo, por lo cual en términos de mitigación se le ha exigido menos que a los países desarrollados. Así, sus primeros compromisos consistieron únicamente en generar conocimientos sobre el cambio climático, con la idea de que posteriormente se implementarían estrategias adecuadas para reducir las emisiones de GEI.

Sobre la generación de conocimiento, aunque aún existen muchas carencias, ha habido avances significativos. Con la elaboración de los Inventarios de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por parte del INECC⁷⁷ se ha adelantado en la comprensión de las causas y la trayectoria de las emisiones de GEI; en las cinco Comunicaciones Nacionales

⁷⁷ El INECC ha publicado cinco Inventarios Nacionales de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero para los años de 1990, 1994-1998, 1990-2010, 1990-2013 y 1990-2015.

ante la UNFCCC⁷⁸ se han concentrado los hallazgos y progresos más importantes; y en los sectores académico y privado se desarrollan múltiples investigaciones que igualmente generan conocimiento.

En torno a la reducción de emisiones, inicialmente México se comprometió a reducir el ritmo de crecimiento de sus emisiones de GEI en el mediano plazo, para lo cual el país se propuso consolidar en el corto, mediano y largo plazos, un conjunto de normas, políticas y programas en materia de energía, industria, recursos naturales, agricultura y ganadería, transporte y desarrollo urbano (INE-SEMARNAP, 2000). Actualmente el gobierno ratifica constantemente su interés por mitigar el cambio climático y ostenta las distintas políticas que implementa para lograrlo.

Pese a la existencia de estos compromisos, cuesta creer que mitigar el cambio climático sea el propósito primordial del gobierno mexicano, pues las políticas de mitigación no manifiestan mucho empuje si éstas no son convenientes en términos de mercado, por lo que a pesar de ambiciosas metas, en los hechos el diseño y la trascendencia de las estrategias de mitigación quedan limitados por distintos intereses. Para profundizar lo anterior, en esta sección se analizan las características y los alcances de las dos principales estrategias de mitigación implementadas en México: generación eléctrica limpia y eficiencia energética; pero antes de ello se analizan los cambios en el marco legislativo que han dado pie a éstas.

2.2.1. La legislación

En materia legislativa para mitigar el cambio climático, México ha realizado diversas gestiones, principalmente desde el nivel federal. En el país se han adoptado tres Estrategias Nacionales de Cambio Climático (Estrategia Nacional de Acción Climática 2000, ENCC 2007-2012 y ENCC visión 10-20-40) y dos Programas Especiales de Cambio Climático (PECC 2009-2012 y PECC 2014-2018). En abril de 2012 se aprobó de forma unánime la Ley General de Cambio Climático (LGCC). Además, existen múltiples planes, programas y

⁷⁸ Se espera que la Sexta Comunicación Nacional se presente en diciembre de 2018 ante la UNFCCC (INECC, 2018).

leyes que buscan contribuir al objetivo de mitigación de emisiones. Sin embargo, al analizar con rigor la amplia legislación, se notan imprecisiones, contradicciones e incluso condiciones exógenas para que ésta sea cumplida.

En este apartado se hace un repaso de los principales planes, programas y leyes que México ha trazado para mitigar el cambio climático a partir del año en el que el país se adhirió a la UNFCCC⁷⁹ y hasta la reciente reforma energética, enfatizando las metas que el marco legislativo ha propuesto, ya que idealmente éstas fungen como guías en el diseño de estrategias y políticas públicas. El objetivo de esta revisión es mostrar cómo las metas de mitigación del cambio climático se han ajustado discrecionalmente, con cambios en el escenario de línea base o flexibilizando conceptos, como el de energía limpia. Primero se presenta una exposición cronológica y posteriormente, a manera de síntesis, los Cuadros 2-1, 2-2 y 2-3 reúnen las diferentes metas cuantitativas de reducción de emisiones de GEI, energías limpias en la producción eléctrica y eficiencia energética, respectivamente.

El primer Programa Sectorial de Energía (PROSENER) estableció como meta duplicar la utilización de energía renovable en el periodo 2001-2006 en comparación con la utilizada en el año 2000 (ver Cuadro 2-2); así también propuso una meta para 2006 de ahorro nacional de energía equivalente al 2.5% con respecto al consumo final total nacional (ver Cuadro 2-3) (SENER, 2002). En el PROSENER 2007-2012 (SENER, 2008), el objetivo de participación de energías renovables en la capacidad de generación eléctrica se fijó en 26% para el año 2012, tomando como línea base 23% del año 2006 (ver Cuadro 2-2); mientras que el objetivo de eficiencia energética para 2012 fue un ahorro de 43,416 giga watts-hora (GWh) en el consumo de energía eléctrica, tomando como línea base 21,685 GWh en 2006 (ver Cuadro 2-3). Asimismo, este programa planteó por primera ocasión una meta de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero: evitar la generación de 28 megatoneladas de CO₂ (MtCO₂) en 2012 provenientes de la producción de energía eléctrica, tomando como línea base 14 MtCO₂ en 2006 (ver Cuadro 2-1). Ya que los plazos

⁷⁹ Aunque previo a la adhesión de México a la UNFCCC se delinearon algunos programas y políticas que inscriben objetivos de aprovechamiento de energías renovables para la generación eléctrica o eficiencia energética, este apartado solo incluye el análisis a partir de 1992, cuando se reconoce como objetivo explícito mitigar el cambio climático.

de ambos programas se han vencido, hoy es posible evaluar su desempeño e infortunadamente cotejar que las metas no se han cumplido⁸⁰.

Con el jerarquía de ley, la primera aprobada con metas específicas para favorecer la mitigación del cambio climático fue la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento a la Transición Energética (LAERFTE, 2008). La LAERFTE definió una participación máxima de 65% de combustibles fósiles en la generación eléctrica para el año 2024, 60% en el 2035 y 50% en el 2050 (ver Cuadro 2-2). El Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables, emanado de la LAERFTE, trazó las metas para el 2012 en el sector eléctrico: 7.6% de capacidad instalada renovable y entre 4.5 y 6.6% de generación eléctrica renovable, porcentajes sin incluir grandes hidros (SENER, 2009a) (ver Cuadro 2-2). Considerando la situación prevaleciente del aprovechamiento de las renovables en el sector eléctrico⁸¹, las metas del programa eran bastante ambiciosas y no parecían advertir siquiera el tiempo necesario entre la decisión de inversión y el comienzo de operación de las plantas. Las metas al 2012 no se cumplieron⁸².

En cuanto a eficiencia energética, la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (LASE, 2008) ordenó crear el Programa Nacional de Aprovechamiento Sustentable de la Energía (PRONASE), mediante el cual se fijarían, entre otras cosas, las metas de eficiencia energética. El PRONASE 2009-2012 (SENER, 2009b) se concentró en el aprovechamiento sustentable de los usos finales de la energía y apuntó una reducción en el consumo final de energía entre 2010 y 2012 de 43 tera watts-hora (TWh) respecto al caso de referencia, así como un ahorro acumulado de 2,566 TWh al 2030 en un escenario de mitigación bajo, mientras que en un escenario de mitigación alto, las estimaciones fueron

⁸⁰ Aunque para evaluar escrupulosamente el cumplimiento de cada meta se tendrían que considerar distintas metodologías, aquí nos limitaremos a señalar algunos datos de México que permiten concluir su incumplimiento. La participación de energías no fósiles en la generación eléctrica para servicio público en el año 2000 era de 24.5%, para 2006 descendió a 21.4% y para 2012 a 18.3% (SIE, 2018). El consumo energético final creció 19.3% entre 2001 y 2006; y 8.4% entre 2006 y 2012 (*Ibidem*). Las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles aumentaron 9.9% entre 2006 y 2012 (INECC-SEMARNAT, 2018).

⁸¹ En 2008 la participación de las renovables en el sector eléctrico ascendía a 3.3% de la capacidad instalada total y a 3.9% de la generación total, ambos sin considerar grandes hidros (SENER, 2009a).

⁸² En 2013 la capacidad instalada renovable representó el 4.1% de la capacidad instalada total y la generación renovable apenas llegó a 1.3% de la generación total (SENER, 2015b).

4,017 TWh de ahorro acumulado al 2030 y 16,417 TWh al 2050 (ver Cuadro 2-3). En el seguimiento del consumo de energía observado hasta ahora, éste podría estar incluso por debajo del escenario de mitigación planteado, empero es necesario considerar que tal trayectoria se debe principalmente a que el crecimiento económico ha sido menor que el estimado en el diseño de estos escenarios.

En el PECC 2009-2012 se incorporaron metas de reducción de emisiones (ver Cuadro 2-1): “México asume el objetivo indicativo o meta aspiracional de reducir en un 50% sus emisiones de GEI al 2050, en relación con las emitidas en el año 2000” (CICC, 2009, pág. viii), visualizando un punto de inflexión en la segunda década de este siglo y enfatizando que no es una meta jurídicamente vinculante y que además está doblemente condicionada. Por una parte es indispensable un régimen multilateral que disponga de mecanismos de apoyo financiero y tecnológico por parte de países desarrollados a una escala sin precedentes; por otra, requiere de un acuerdo global convergente y congruente con el principio de “responsabilidades comunes pero diferenciadas y respectivas capacidades”. El PECC construyó un escenario tendencial (línea base de emisiones) y un escenario de mitigación de largo plazo, en los que supuso un crecimiento promedio anual del PIB de 3.5% entre 2008 y 2050 y un crecimiento demográfico que se estabiliza a partir de 2040. Como se aprecia en el Cuadro 2-1, en el escenario tendencial las emisiones de gases de efecto invernadero crecen 37% en 2020, 50% en 2030 y 70% en 2050, respecto al 2000; en el escenario de mitigación, en cambio, para 2020 las emisiones solo crecen 9%, para 2030 bajan 11% y para 2050 se logra la meta de reducción de 50%, tomando como referencia el 2000 (CICC, 2009).

Con la Ley General de Cambio Climático (LGCC, 2012), se formalizaron las metas de reducción de emisiones de GEI, 30% para 2020 con respecto a la línea base⁸³ y 50% para 2050 con respecto al 2000 (ver Cuadro 2-1), metas que siguieron condicionadas a financiamiento y transferencia tecnológica por parte de los países desarrollados; asimismo,

⁸³ Aunque la LGCC no especifica cómo fue construida la línea base, se nota una diferencia con respecto al PECC 2009-2012, en el que la caída de las emisiones de GEI en 2020 con respecto a la línea base era de 21%.

se estableció la meta de 35% de generación de energía eléctrica limpia⁸⁴ para el año 2024 (ver Cuadro 2-2); y además se extendieron las responsabilidades de mitigación y adaptación del cambio climático a los tres niveles de gobierno. Sobre eficiencia energética, la LGCC no fijó meta explícita alguna.

En la Quinta Comunicación ante la UNFCCC, se abren claros oscuros de la LGCC. Por una parte la Quinta Comunicación muestra luz respecto a la línea base de la LGCC, pues el documento señala un escenario tendencial y un escenario de mitigación a 2030, en los que se supuso un crecimiento del PIB del 2.6% anual entre 2006 y 2020 y se estimó un potencial de abatimiento mayor que en los escenarios del PECC 2009-2012 (ver Cuadro 2-1), de tal modo que el potencial de abatimiento para el 2020 es de 30% y de 53% para 2030, ambos con respecto a la línea base (SEMARNAT-INECC, 2012). Por otro lado, el texto confunde al señalar la meta de 35% de “capacidad instalada” de fuentes limpias (SEMARNAT-INECC, 2012, pág. 33) y no de la “generación” eléctrica, como se apuntara previamente en el Transitorio Segundo de la LAERFTE (refiriéndose a generación no fósil) y en el Artículo Tercero, Fracción II, Inciso e, de la LGCC (refiriéndose a generación limpia) (ver Cuadro 2-2).

Sobre el último punto, 35% de energía limpia, hubo muy poca claridad. Se advirtió ya que la LGCC y la Quinta Comunicación no señalan estrictamente lo mismo, y existen al menos tres documentos más publicados el mismo año que tampoco ayudan a la obtención de una conclusión. En la Estrategia Nacional de Energía (ENE) 2012-2026 se estableció una meta para 2026 (ver Cuadro 2-2) y se dijo: “A diferencia de las Estrategias anteriores, en las cuales se disponía una meta de participación de las energías limpias de 35% en la capacidad instalada de generación de electricidad, en la ENE 2012-2026 se ha incluido como meta incrementar la participación de las fuentes no fósiles en la generación de

⁸⁴ La LGCC no especifica qué tipo de recursos energéticos son considerados fuentes limpias, pero si se recuerda la meta de la LAERFTE (participación máxima de 65% de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica para el año 2024), se deduce que las fuentes limpias tendrían que ser no-fósiles.

electricidad a 35%” (SENER, 2012a, pág. 7). Claramente el documento diferencia entre capacidad instalada y generación⁸⁵, así como entre energías no fósiles y limpias⁸⁶.

Además de la ENE 2012-2026, la Prospectiva de Energías Renovables (PER) 2012-2026 y la Prospectiva del Sector Eléctrico (PSE) 2012-2026, son los otros documentos a los que se hizo mención en el párrafo anterior. La PER señala explícitamente en un primer momento que “Las tecnologías limpias incluyen la eólica, solar, biomasa y biogás, geotérmica, pequeñas hidroeléctricas, grandes hidroeléctricas (más de 30 MW) y la energía nuclear” (SENER, 2012b, pág. 17), aunque más adelante al referirse a las fuentes limpias incluye “carboeléctricas y ciclos combinados que cuenten con captura y secuestro de carbono” (SENER, 2012b, págs. 22, 107, 143). Por su parte en la PSE se fuerza ya una hibridación de estas confusiones: “Al cumplir con la meta establecida en la LAERFTE⁸⁷, también se cumple con esta meta [la de la LGCC⁸⁸], ya que las fuentes de energía limpias abarcan tanto a las energías no fósiles como aquellas tecnologías con captura y secuestro de CO₂” (SENER, 2012c, pág. 53). Esta ambigüedad del concepto de energías limpias, como se verá más adelante, se subsanó de forma tajante un par de años después.

Siguiendo el recuento cronológico, la ENCC visión 10-20-40 (CICC, 2013) construyó nuevos escenarios de emisiones de GEI suponiendo un crecimiento promedio anual del PIB de 3.6%, donde llama la atención un escenario tendencial mucho más alto que el proyectado en los documentos anteriores (ver Cuadro 2-1); mientras que para la generación de electricidad con base en fuentes limpias estipuló metas que se alinean a la LGCC e incluso abarcan un periodo de mayor plazo (ver Cuadro 2-2).

El PROSENER 2013-2018 (SENER, 2013) estableció ampliar la participación de energías renovables y tecnologías limpias en la capacidad instalada de generación de

⁸⁵ De hecho el documento señala como escenario inercial un 35% de capacidad de energía limpia al 2026, que equivale al 25.3% de la generación no fósil; mientras que los escenarios ENE buscan 35% de generación no fósil (SENER, 2012a, págs. 59-68).

⁸⁶ De la lectura de la ENE 2012-2026 se colige que las fuentes limpias comprenden renovables (incluyendo grandes hidros), nucleoeeléctricas, ciclo combinado y carboeléctricas con captura y secuestro de carbono; las fuentes no fósiles solo abarcan renovables (incluyendo grandes hidros) y nuclear.

⁸⁷ 35% de generación con fuentes no fósiles.

⁸⁸ 35% de generación con fuentes limpias.

electricidad en el Sistema Eléctrico⁸⁹ a 34.6% o más para el año 2018 (ver Cuadro 2-2); y estableció también al 2018, mantener 51% de consumo final energético nacional regulado por las Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética (ver Cuadro 2-3).

Después vino el PECC 2014-2018 (CICC, 2014) con una meta de mitigación a más corto plazo: para 2018, mitigar 83.2 megatoneladas de bióxido de carbono equivalente anual (MtCO₂e/año), calculadas con potencial de calentamiento a 100 años, y 95.7 MtCO₂e/año, calculadas con potencial de calentamiento a 20 años (ver Cuadro 2-1).

En el PRONASE 2014-2018⁹⁰ (SENER, 2014) se fijó una meta sobre la intensidad energética (medida por la razón consumo energético/PIB), la cual estableció para 2018 al menos mantener la intensidad energética registrada en 2012 (ver Cuadro 2-3); y conservó la meta del PROSENER 2013-2018 sobre consumo energético regulado (ver Cuadro 2-3).

Respecto a la sentencia que puso fin a las imprecisiones sobre las “energías limpias”, en 2014 se promulgó la Ley de la Industria Eléctrica (LIE) que en la fracción XXII de su artículo 3 fijó (de manera muy amplia) la definición de energías limpias⁹¹. Con esta base, el nuevo documento que rige la planeación del sector eléctrico, el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) 2015-2029, incluye una fuerte participación de un concepto limpio: cogeneración⁹². De acuerdo al PRODESEN, la meta

⁸⁹ Incluye Servicio Público y Autoabastecimiento Remoto.

⁹⁰ A diferencia del PRONASE 2009-2012 que se centró en los usos finales de la energía, el PRONASE 2014-2018 considera todos los procesos y actividades de la cadena energética (explotación, producción, transformación, distribución y consumo o uso final).

⁹¹ Entre las Energías Limpias se consideran: viento; radiación solar; energía oceánica; energía geotérmica; bioenergéticos; energía generada por el aprovechamiento del poder calorífico del metano y otros gases asociados en los sitios de disposición de residuos, granjas pecuarias y en las plantas de tratamiento de aguas residuales; energía generada por el aprovechamiento del hidrógeno; energía proveniente de centrales hidroeléctricas; energía nucleoelectrica; energía generada con los productos del procesamiento de esquilmos agrícolas o residuos sólidos urbanos (como gasificación o plasma molecular); energía generada por centrales de cogeneración eficiente; energía generada por ingenios azucareros; energía generada por centrales térmicas con procesos de captura y almacenamiento geológico o biosecuestro de bióxido de carbono; tecnologías consideradas de bajas emisiones de carbono conforme a estándares internacionales, y otras tecnologías que determinen la Secretaría y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con base en parámetros y normas de eficiencia energética e hídrica, emisiones a la atmósfera y generación de residuos, de manera directa, indirecta o en ciclo de vida (LIE, 2014).

⁹² La cogeneración es la producción secuencial de energía eléctrica y de energía térmica aprovechable en los procesos industriales y comerciales a partir de la misma fuente combustible (SENER, 2015b).

de 35% de energía limpia para 2024 será claramente superada, pues estima que la capacidad instalada limpia en ese año será de 43% y alcanzará el 45% en 2029; en ambos años la cogeneración representa el 7% de la capacidad instalada total (SENER, 2015b). Siendo estrictos, la cogeneración implica el uso de fuentes energéticas fósiles y aunque el aprovechamiento de éstas es más eficiente, no es precisamente una fuente limpia. Al restar la capacidad instalada de cogeneración al total de energías limpias, la participación de éstas en la capacidad instalada sería de 36 y 38% para 2024 y 2029, respectivamente. Nótese que esta participación es para el concepto “capacidad instalada”, el cual difiere del concepto “generación”, el que se estableció originalmente como meta en la LAERFTE y la LGCC (ver Cuadro 2-2), por lo que aun si el PRODESEN se ejerce tal como está planteado, no es posible aseverar que se estén cumpliendo las metas dictadas⁹³.

Por otro lado, en la INDC elaborada para la COP21, México asumió dos tipos de compromisos: “condicionados” al establecimiento de un nuevo régimen internacional de cambio climático y a financiamiento y transferencia tecnológica por parte de los países desarrollados; y, por primera vez, “no condicionados” que el país se compromete a solventar con sus propios recursos. Se trata de metas obligatorias, ya no de compromisos de carácter aspiracional y condicionado. Así, el compromiso no condicionado de México es reducir 22% sus emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2030 con respecto al escenario tendencial, lo que va en línea con la reducción de 50% con respecto al 2000 planteada en la LGCC. El compromiso al 2030 implica un pico de emisiones de GEI en 2026. Con acuerdo internacional, financiamiento y transferencia tecnológica, la meta asciende a una reducción del 36% de las emisiones de GEI para 2030 respecto a la línea base (INDC, 2015) (ver Cuadro 2-1).

Finalmente, la Ley de Transición Energética (LTE) —la última pieza legislativa incluida en este trabajo— se publicó en el DOF el 24 de diciembre de 2015 y fue la última de las leyes emanadas de la reforma energética. Después de un largo año de espera para ser aprobada en el Senado de la República, la LTE se avocó al sector eléctrico y planteó metas

⁹³ En 2015, por ejemplo, la capacidad instalada no fósil ascendió a 28%, mientras que la generación no fósil en el mismo año fue de 20% (SENER, 2016).

de participación de energías limpias en la generación eléctrica de 25% al 2018, 30% al 2021 y 35% al 2024 (LTE, 2015) (ver Cuadro 2-2), sin incluir las metas de más largo plazo que originalmente estaban planteadas y ascendían a 60% de generación limpia en 2050 (Cámara de Diputados, 2014). Ya que con la LTE se derogó a la LAERFTE, en la actualidad no existe ley vigente que estipule metas de más largo plazo para la participación de energías limpias. Y con respecto a la eficiencia energética, la LTE delegó al PRONASE el establecimiento de una meta indicativa, el cual al cierre de 2015 aún no se había actualizado.

Cuadro 2-1. Las metas de reducción de emisiones de GEI en México

Ley o Programa	Meta	Emisiones de GEI proyectadas (MtCO ₂ e)		
		Año	Línea Base	Escenario Mitigación
PROSENER 2007-2012 (2008)	Evitar la generación de 28 MtCO ₂ provenientes de la producción de energía eléctrica, tomando como línea base 14 MtCO ₂ en 2006.	2012	NA	NA
PECC 2009-2012 (2009)	50% de reducción de emisiones de GEI respecto al 2000 (meta aspiracional).	2000	644	644
		2020	882	700
		2030	969	572
		2050	1089	339
LGCC (2012)	30% de reducción de emisiones de GEI para 2020 respecto a línea base y 50% respecto al 2000 (metas aspiracionales).	NE		
Quinta Comunicación (2012)	Las mismas que la LGCC.	2006	709	709
		2020	872	611
		2030	996	473
ENCC visión 10-20-40 (2013)	Visión a 10 años: reducción del 30% de las emisiones de GEI respecto a línea base. Visión a 40 años: reducción del 50% de las emisiones de GEI respecto al 2000.	2020	960	672
		2030	1267	NE
		2050	2257	320
PECC 2014-2018 (2014)	En el año 2018, mitigar 83.2 MtCO ₂ e/año (calculadas con potencial de calentamiento a 100 años) y 95.7 MtCO ₂ e/año (calculadas con potencial de calentamiento a 20 años).	NA		
INDC (2015)	Reducir 22% las emisiones de GEI para el 2030 respecto a la línea base (meta no condicionada).	2020	792	NE
		2025	888	NE
		2030	973	759
	Reducir 36% las emisiones de GEI para el 2030 (meta condicionada).	2020	792	NE
		2025	888	NE
		2030	973	623

NA: No aplica. NE: No especificado.

Elaboración propia con base en (CICC, 2009; CICC, 2013; CICC, 2014; INDC, 2015; LGCC, 2012; SEMARNAT-INECC, 2012; SENER, 2008).

Cuadro 2-2. Las metas de energía limpia en el sector eléctrico en México

Ley o Programa	Meta	Año	Fuentes energéticas consideradas
PROSENER 2001-2006 (2002)	Duplicar la utilización de energía renovable en comparación con la utilizada en el año 2000.	2006	NE
PROSENER 2007-2012 (2008)	26% de energías renovables en la capacidad de generación de energía eléctrica.	2012	NE
LAERFTE (2008)	Máximo 65% de combustibles fósiles en la generación.	2024	No fósiles: grandes hidroeléctricas, renovables y nuclear.
	Máximo 60% de combustibles fósiles en la generación.	2035	
	Máximo 50% de combustibles fósiles en la generación.	2050	
Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables (2009)	7.6% de capacidad instalada renovable.	2012	Renovables: eólica, solar, minihidráulica, geotermia y biomasa (no incluyen grandes hidroeléctricas).
	Entre 4.5 y 6.6% de generación eléctrica renovable.		
ENE 2012-2026 (2012)	35% de generación eléctrica no fósil.	2026	No fósiles: grandes hidroeléctricas, renovables y nuclear.
LGCC (2012)	35% de generación eléctrica limpia.	2024	NE
PER 2012-2026 (2012) y PSE 2012-2026 (2012)	35% de generación limpia.	2024	Limpias: eólica, solar, biomasa y biogás, geotérmica, pequeñas hidroeléctricas, grandes hidroeléctricas, nuclear y carboeléctricas y ciclos combinados con captura y secuestro de carbono.
Quinta Comunicación (2012)	35% de capacidad eléctrica instalada limpia.	2024	
ENCC visión 10-20-40 (2013)	Cerca del 35% de generación eléctrica limpia.	Visión 10 años	
	Al menos 40% de generación eléctrica limpia.	Visión 20 años	
	Al menos 50% de generación eléctrica limpia.	Visión 40 años	
PROSENER 2013-2018 (2013)	34.6% de participación de energías renovables y tecnologías limpias en capacidad instalada de generación de electricidad en el Sistema Eléctrico (Servicio Público y Autoabastecimiento Remoto).	2018	Renovables: fuentes que se regeneran naturalmente. Tecnologías limpias: nuclear, cogeneración eficiente y generación eléctrica con captura y secuestro de CO ₂ .
PRODESEN 2015-2029 (2015)	35% de capacidad eléctrica instalada limpia.	2024	De acuerdo a la definición de Energías Limpias de la LIE.
LTE (2015)	25% de generación eléctrica limpia.	2018	De acuerdo a la definición de Energías Limpias de la LIE.
	30% de generación eléctrica limpia.	2021	
	35% de generación eléctrica limpia.	2024	

NE: No especificado.

Elaboración propia con base en (LAERFTE, 2008; LGCC, 2012; LIE, 2014; LTE, 2015) (SEMARNAT-INECC, 2012; SENER, 2002; SENER, 2008; SENER, 2009a; SENER, 2012a; SENER, 2012b; SENER, 2012c; SENER, 2015b).

Cuadro 2-3. Las metas de eficiencia energética en México

Ley o Programa	Meta	Año
PROSENER 2001-2006 (2002)	Ahorro nacional de energía equivalente al 2.5% con respecto al consumo final total nacional.	2006
PROSENER 2007-2012 (2008)	Ahorro de 43,416 GWh en el consumo de energía eléctrica, tomando como línea base 21,685 GWh en 2006.	2012
PRONASE 2009-2012 (2009)	Reducir 43 TWh acumulados de consumo final de energía a partir de 2010.	2012
	Reducir 2,566 TWh acumulados de consumo final de energía a partir de 2010 (escenario de mitigación bajo).	2030
	Reducir 4,017 TWh acumulados de consumo final de energía a partir de 2010 (escenario de mitigación alto).	
	Reducir 16,417 TWh acumulados de consumo final de energía a partir de 2010 (escenario de mitigación alto).	2050
PROSENER 2013-2018 (2013)	51% de consumo final energético nacional con regulación de eficiencia energética (Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética).	2018
PRONASE 2014-2018 (2014)	Mantener una intensidad energética por lo menos igual a la de 2012 (667.47 KJ/unidad de PIB producido en moneda de 2008).	2018
	51% de consumo final energético nacional con regulación de eficiencia energética (Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética).	

Elaboración propia con base en (SENER, 2002; SENER, 2008; SENER, 2009b; SENER, 2013; SENER, 2014).

Con esta exposición se constata que el marco legislativo mexicano en materia de mitigación de cambio climático es amplio, cambiante y con metas diversas. Sin embargo, el solo hecho de plasmar metas en planes, programas o inclusive leyes, no garantiza la su observancia. En este contexto ha prevalecido la poca capacidad del Estado para diseñar estrategias adecuadas para alcanzar las metas propuestas y hacer cumplir la normatividad vigente; en su lugar, se ha optado por flexibilizar y adaptar las metas iniciales a los logros obtenidos, y así, aparentemente, cumplir con lo establecido.

2.2.2. Generación eléctrica limpia

El inicio de la generación eléctrica con fuentes no fósiles en el país no surgió como una política para contener el cambio climático. Se tienen registros de generación eléctrica con base en energía hidráulica desde finales del siglo XIX, apenas 10 años después de instalarse la primera planta termoeléctrica en el país (CFE, 2014). Por otro lado, en 1959 se instaló una planta piloto geo-termoeléctrica, lo que permitió que México se consolidara como el tercero en el mundo en utilizar la geotermia. Para la década de los 70's la generación eléctrica con base en dicho recurso ya figuraba en la matriz eléctrica mexicana (Gerencia de Geotermia, IIE, s.f.). La favorable dotación de recursos energéticos y las tecnologías

disponibles han sido sin duda elementos determinantes en este tipo de desarrollos, pero esos mismos elementos que en una de sus caras implica recursos fósiles, junto con las ventajas de éstos frente a las renovables, han constituido una fuerte ancla para una matriz eléctrica predominantemente fósil.

Para 1960, cuando se nacionalizó el sector eléctrico, casi la mitad de la generación de electricidad en México se hacía con energía hidráulica. En la década de los 70's, con el descubrimiento del yacimiento petrolero Cantarell y frente a una inminente bonanza de recursos fósiles, la producción eléctrica tendió a un mayor uso de estos combustibles, sobre todo de los derivados del petróleo, de tal modo que en la década siguiente, los fósiles participaron alrededor del 71% en la generación eléctrica total (INEGI, 2014a).

En 1992, cuando México firmó su participación en la UNFCCC, la estructura de la matriz eléctrica se mostraba preponderantemente fósil y por ende gran generadora de emisiones de carbono: la generación eléctrica emitió el 23.2% del CO₂ por consumo de combustibles fósiles y su factor de emisión era de 150.31 mega-toneladas de CO₂ por cada petajoule de electricidad generado (INECC-SEMARNAT, 2018; SIE, 2018). Tales características consolidaron al sector eléctrico como un área de oportunidad en la mitigación del cambio climático, sobre todo por la reconocida abundancia de fuentes energéticas renovables en el país y la existencia de tecnologías maduras en el mundo para aprovecharlas. Así, el reto fundamental en el sector sería impulsar dichas fuentes mediante arreglos legislativos, regulatorios e institucionales con miras a facilitar y promover la inversión y la adopción de las tecnologías disponibles en el mercado.

En el mismo año, 1992, con la modificación en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE)⁹⁴, el sector eléctrico quedó abierto a la participación privada, lo que significó la posibilidad de ampliar la producción eléctrica y de realizar la generación que el Estado no estaba dispuesto a hacer, ya fuera por falta de recursos financieros, de

⁹⁴ La LSPEE segmentó al sector eléctrico en servicio público (CFE y productores independientes de energía (PIE's) que venden su energía a CFE) y productores privados (autoabastecimiento; cogeneración; pequeña producción; exportación derivada de cogeneración, pequeña producción o producción independiente; importación para abastecimiento de usos propios; y generación eléctrica para emergencias derivadas de interrupciones en el servicio público). La LSPEE está actualmente derogada.

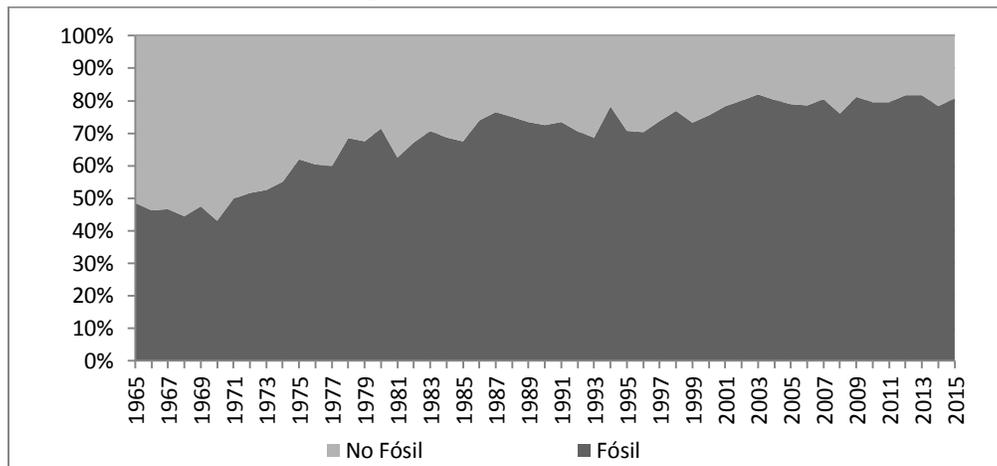
experiencia o de capacidad. El cambio implicó el comienzo de una era de gasificación en el sector eléctrico mexicano, tanto en el servicio público como en los productores privados, inducido principalmente por la factibilidad técnica y económica de las plantas de ciclo combinado (las que utilizan gas como energía primaria), mientras que el crecimiento de energías renovables se dio en menor medida.

De tal suerte, el hecho paradójico es que la participación de las energías fósiles en la matriz eléctrica mexicana es cada vez más grande. En 2015 la generación eléctrica fósil para servicio público⁹⁵ ascendió a 81%, una de las mayores participaciones registradas en la historia del sector eléctrico (ver Gráfico 2-1 y Cuadro 2-4).

Entre 1965 y 1992, la generación termoeléctrica (ciclo de vapor, turbogas y combustión interna) promedió 56% de participación en la generación total; a partir de 1992 se observa una fuerte caída de la participación termoeléctrica, la cual se ha subsanado con el crecimiento de las tecnologías de ciclo combinado, que mostraron un incremento impresionante y al 2015 representaron más de la mitad de la generación total para servicio público. Al comparar las dimensiones de la caída de la generación termoeléctrica con el incremento de los ciclos combinados (ver Cuadro 2-4), es evidente que los últimos no solo están reemplazando a las centrales termoeléctricas, sino que se han convertido en la base generadora de la nueva demanda eléctrica. El papel de los productores independientes de energía (PIE's) en este proceso fue decisivo. Para el capital privado, las tecnologías de ciclo combinado son atractivas por ser menos intensivas en capital y presentar factores de planta altos, además si el precio del gas es bajo, su atractivo es mayor. Por otra parte, ya que el proceso de combustión del gas emite menos CO₂ que los derivados del petróleo o el carbón, el ciclo combinado se convierte en una especie de bandera pseudo-verde. Así, 66% de la generación para servicio público mediante tecnologías de ciclo combinado entre 2002 y 2015 la realizaron los PIE's, lo que los consolidó como los principales generadores con ciclo combinado.

⁹⁵ Aunque la reforma energética de 2013-2014 anuló la segmentación servicio público-productores privados, el análisis aquí esbozado continúa haciendo tal distinción, pues al año 2015, la reforma continuaba en proceso de implementación y dicho esquema seguía operando.

Gráfico 2-1. Participación por tipo de energía en la generación eléctrica para el servicio público en México, 1965-2015



Elaboración propia con base en datos de INEGI (2014a) y SIE (2018).

Cuadro 2-4. Dinámica de la generación eléctrica para el servicio público en México, 1965-2015

Tecnología / Indicador y Año	Generación bruta anual (GWh)			Crecimiento en el periodo (%)		Participación en la generación (%)		
	1965	1992	2015	1965-1992	1992-2015	1965	1992	2015
Termoeléctrica ¹	8,382	70,347	42,662	739	-39	49	58	16
Ciclo combinado ²	0	7,214	134,487	NA	1,764	0	6	52
Dual ³	0	0	3,475	NA	NA	0	0	1
Carboeléctrica	0	8,318	30,124	NA	262	0	7	12
Nucleoeléctrica	0	3,919	11,577	NA	195	0	3	4
Hidroeléctrica	8,864	26,095	30,051	194	15	51	21	12
Geotermoléctrica	0	5,804	6,291	NA	8	0	5	2
Eólica ²	0	0	2,387	NA	NA	0	0	1
Fotovoltaica	0	0	13	NA	NA	0	0	0
Total	17,246	121,697	261,067	606	115	100	100	100

NA: No aplica. ¹ Incluye ciclo de vapor, turbogas y combustión interna. ² Incluye la energía generada por los PIE's y vendida a CFE. ³ Pueden operar con carbón o combustóleo.

Elaboración propia con base en datos de INEGI (2014a) y SIE (2018).

Existe un constante debate sobre la pertinencia del auge de las tecnologías de ciclo combinado en el marco de la mitigación del cambio climático. Si bien es cierto que durante el proceso de combustión en la generación eléctrica el gas es el combustible fósil que menos emisiones de CO₂ libera⁹⁶, también es cierto que su tasa de emisión es mucho mayor que la de las energías renovables o la nuclear. Por otra parte, si se consideran otro tipo de emisiones, como el metano y su potencial de calentamiento de corto plazo, la concepción

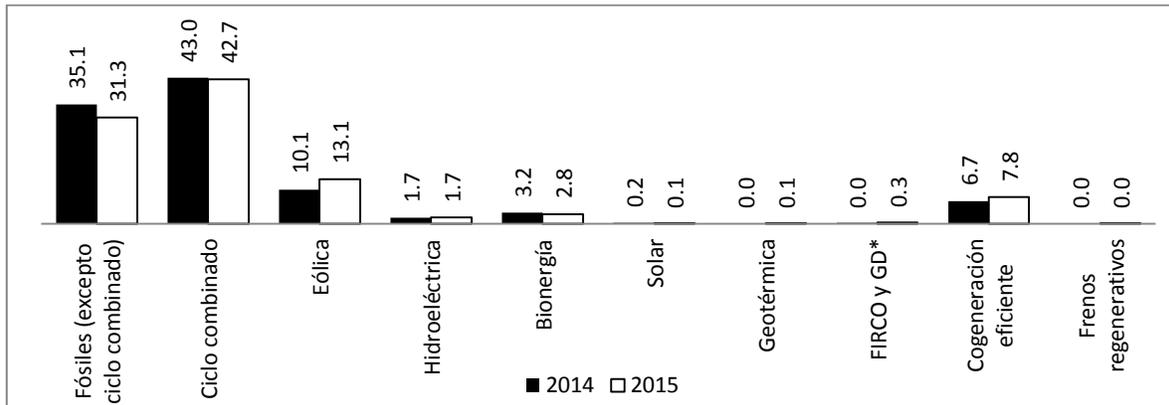
⁹⁶ En la generación eléctrica en México en 2009, el promedio de emisiones de CO₂ por kWh fue de 970 gramos de CO₂ para el carbón, 758 para los derivados del petróleo y 400 para el gas (IEA, 2011).

del gas como combustible limpio queda aún más en entredicho (Shoemaker, Schrag, Molina, & Ramanathan, 2013; Zavala Araiza, 2015). Finalmente, cabe hacer énfasis una vez más en la inercia de los sistemas energéticos. Las decisiones que se tomen hoy día no solo determinan el corto plazo, sino que también influyen en el mediano y largo plazos. Afianzar un sector eléctrico altamente dependiente de las tecnologías de ciclo combinado implica, cuando menos, contratos de energía de largo plazo y la expansión de una infraestructura que no podrá ser removida rápidamente y que seguirá operando por varias décadas. Por lo tanto, implica emisiones de CO₂ y otros contaminantes, indefinidamente.

Regresando al Cuadro 2-4, se aprecia que el crecimiento de las energías renovables fue insuficiente para que éstas figuraran de manera significativa en la integración de la matriz eléctrica. La hidroeléctrica y la geotermoeléctrica, a pesar de haber crecido en términos absolutos en el periodo 1965-2015, perdieron participación porcentual en la matriz, dado el incremento total de la producción eléctrica. Mientras que la eólica y la solar, las dos renovables a las que más se les apuesta en la actualidad, solo han logrado una participación marginal en la generación total (0.9% la eólica y 0.005% la fotovoltaica en 2015). El crecimiento del aprovechamiento de la energía eólica se relaciona en gran medida, al igual que en el caso de los ciclos combinados, con la participación de los PIE's, los que en 2015 generaron el 91% del total de la eólica para servicio público. Finalmente, la producción eléctrica basada en energía nuclear, también considerada de bajas emisiones, ha permanecido sin cambios significativos en la última década.

En años recientes, la generación eléctrica para servicio público abarcó alrededor del 85% de la generación eléctrica total en México, por lo que en el análisis anterior faltaría incluir el comportamiento de aproximadamente un 15% de producción de electricidad que llevaron a cabo los productores privados. Aunque no hay información periódica pública disponible sobre el comportamiento de la generación privada, los datos de 2014 y 2015 revelan que en la producción eléctrica privada también dominaron las energías fósiles (78% en 2014 y 74% en 2015), sin dejar de reconocer que crecieron las renovables —sobre todo la eólica— y que la cogeneración eficiente también ha cobrado fuerza. El Gráfico 2-2 muestra a *grosso modo* la matriz eléctrica privada en 2014 y 2015.

Gráfico 2-2. Integración de la generación eléctrica privada^a por tipo de tecnología en México, 2014-2015 (%)



^a Incluye autoabastecimiento, pequeña producción, cogeneración, exportación y usos propios continuos.

* Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) y Generación Distribuida (GD).

Elaboración propia con base en datos de SENER (2016) y SIE (2018).

Como es evidente, al sumar la generación eléctrica para servicio público y la del sector privado, se conforma una matriz eléctrica preponderantemente fósil (80% en 2015). A pesar del impulso a las tecnologías de bajas emisiones, la dependencia fósil del sector eléctrico mexicano al cierre de 2015 es mayor que en cualquiera de las décadas anteriores.

No es la intención de esta investigación negar ni la posibilidad ni la importancia de que las energías renovables sigan creciendo, sobre todo a la luz de su amplio potencial (ver Cuadro 2-5), pero sí es preciso enfatizar que enfocar los esfuerzos de mitigación únicamente en el crecimiento de las energías renovables es un trabajo incompleto. No solo es incompleto por el margen de holgura de los recursos renovables potenciales de generación, principalmente en los casos de la eólica y la solar, sino porque aun suponiendo que se aprovechara dicho margen, la participación renovable continuaría baja.

Cuadro 2-5. Potencial de generación eléctrica renovable en México, 2015 (GWh/año)

Recursos	Geotérmica	Hidráulica	Oceánica	Eólica	Solar	Biomasa
Probados	1,932	4,457	-	15,307	8,171	728
Probables	45,207	23,028	1,057	-	-	391
Posibles	52,013	44,180	-	87,600	6,500,000	11,485

Recursos probados: cuentan con suficientes estudios técnicos y económicos que comprueban su factibilidad en la generación eléctrica. **Recursos probables:** cuentan con estudios directos e indirectos de campo, pero no cuentan con suficientes estudios que comprueben su factibilidad técnica y económica. **Recursos posibles:** potencial teórico de capacidad instalable y generación eléctrica de acuerdo a estudios indirectos, utilizando supuestos, sin estudios de campo que permitan comprobar su factibilidad técnica y económica.

Fuente: *Inventario Nacional de Energías Renovables*, SENER (2015a).

En el Cuadro 2-6 se realiza un ejercicio para el año 2015, el cual ilustra hipotéticamente la integración de la matriz eléctrica si se hubieran aprovechado todos los recursos energéticos renovables probados. Si a la generación bruta observada en 2015 (A) se suma el potencial de recursos renovables probados (B), y este potencial se resta de la generación convencional, se obtiene de forma hipotética la generación eléctrica con el mayor aprovechamiento de energía renovable que es técnica y económicamente factible en el año 2015 (C). De tal modo, la columna C muestra la generación donde crecen las renovables y se reducen los fósiles. Las dos columnas siguientes muestran la participación de la energía limpia en los escenarios observado e hipotético. Es de constatar que a pesar de la variación hipotética, la generación fósil es dominante (65%), aun bajo el supuesto de que se aprovecha totalmente el potencial renovable probado.

Cuadro 2-6. Generación eléctrica observada e hipotética con aprovechamiento de recursos renovables probados en México, 2015

Tecnología	A Generación observada (GWh)	B Potencial de recursos probados (GWh)	C=A+B Generación hipotética (GWh)	Participación de energías limpias en la generación observada (%)	Participación de energías limpias en la generación hipotética (%)
Convencional	246,601	-45,703	200,898	80	65
Limpia	62,952	45,703	108,655	20	35
<i>Renovable</i>	46,207	43,307	89,514	15	29
Hidroeléctrica	30,892	4,796	35,688	10	12
Eólica	8,745	19,805	28,550	3	9
Geotérmica	6,331	2,355	8,686	2	3
Solar	78	16,351	16,429	0	5
FIRCO y GD*	161		161	0	0
Otras	16,745	2,396	19,141	5	6
Nucleoeléctrica	11,577		11,577	4	4
Bioenergía	1,369	2,396	3,765	0	1
Cogeneración eficiente	3,795		3,795	1	1
Frenos regenerativos	4		4	0	0
Total	309,553	-	309,553	100	100

* Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) y Generación Distribuida (GD).

Elaboración propia con base en datos de SENER (2015a; 2016).

Así, el cuadro revela que dados los elevados niveles de producción eléctrica, el potencial probado de generación de las energías renovables es insuficiente para que estas energías tengan un peso mayoritario en la matriz eléctrica. Ahora bien, ya que la oferta eléctrica responde, entre otras cosas, a los requerimientos de la demanda, es necesario considerar los factores que impulsan la demanda de electricidad y explorar alternativas para reducirla. Una estrategia de mitigación eficaz en el sector eléctrico deberá estimular el crecimiento de

las energías renovables y simultáneamente procurar la contracción de la demanda de electricidad, de tal modo que consolide al potencial de las renovables como una posibilidad real para integrar una matriz eléctrica limpia.

Con los datos del Cuadro 2-6, para que la matriz eléctrica de 2015 se integrara con 50% de energías fósiles como máximo, la demanda eléctrica tendría que haberse reducido alrededor del 30% (lo que habría conducido a los productores a reducir su oferta eléctrica en aproximadamente 30%) y simultáneamente se tendría que haber aprovechado el potencial total de los recursos renovables probados para la generación eléctrica. En este panorama, es claro que las exigencias de reducción de demanda eléctrica son altas, mientras que en la realidad se observa un crecimiento constante de ésta. Así, el comportamiento de la demanda de electricidad adquiere un papel clave para lograr la transformación de la matriz eléctrica. En este sentido, la estrategia de mitigación denominada “eficiencia energética” centra su atención en la cantidad de energía demandada como elemento que promueve o frena la cantidad de emisiones de CO₂. Esta estrategia comprende tanto la demanda de energía eléctrica, como la demanda de otras formas de energía, por lo que se analiza de forma independiente en el siguiente apartado.

2.2.3. Eficiencia energética

El artículo 3 de la LTE define a la eficiencia energética como: “todas las acciones que conlleven a una reducción, económicamente viable, de la cantidad de energía que se requiere para satisfacer las necesidades energéticas de los servicios y bienes que demanda la sociedad, asegurando un nivel de calidad igual o superior” (LTE, 2015). Además de la eficiencia energética, como se mencionó en el Capítulo 1, otras estrategias de gestión de la demanda de energía (DSM) buscan también reducir dicha demanda. Esta reducción puede ocurrir en diferentes ámbitos, ya que los procesos relacionados con la energía están inmersos en una amplia cadena (recuérdese el Esquema 1 del planteamiento del problema).

En México, de manera análoga a la generación eléctrica limpia, la promoción de la eficiencia energética y la gestión de la demanda de energía no comenzaron por la preocupación del cambio climático, sino que previo a ello se distinguía un potencial de ahorro energético y económico en el país. En la década de 1980's y principios de 1990's

aparecieron las primeras iniciativas, la mayoría de las cuales continúan vigentes, algunas con cambios o ampliaciones en su alcance territorial, y se han incluido otras. Actualmente, la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), antes Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), es el órgano técnico articulador de las políticas públicas de aprovechamiento de la energía. El Cuadro 2-7 recoge algunos de los programas de eficiencia energética y DSM más significativos implementados en México y una breve descripción de los mismos. Posteriormente se analizan los impactos de estos programas con base en algunos indicadores.

Cuadro 2-7. Programas de eficiencia energética y otros DSM en México

Parte 1 de 2

Sector	Programa	Características	Vigencia
Varios	Programa Nacional para el Uso Racional de la Energía Eléctrica (PRONUREE)	Campañas escolares y domésticas, seminarios y conferencias que tuvieron como propósito difundir información sobre el ahorro de energía y alternativas energéticas.	1980-1989
	Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (PAESE)	Coordina acciones e impulsa programas para promover el ahorro y el uso eficiente de la energía eléctrica. Sus actividades están dirigidas al personal, instalaciones de la CFE y a usuarios finales del servicio eléctrico.	1989-Actual
	Programas y proyectos del Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE)	Asesoría, asistencia técnica y financiamiento para proyectos y programas específicos para el ahorro y uso eficiente de la electricidad a los sectores industrial, comercial, servicios y doméstico, a micro y pequeñas empresas, y a municipios.	1990-Actual
	Sello FIDE*	Distintivo que se otorga a productos que inciden directa o indirectamente en el ahorro de energía eléctrica. El Sello FIDE A se otorga a equipos y aparatos que utilizan energía eléctrica de manera eficiente. El Sello FIDE B lo obtienen materiales que permiten un uso eficiente de la energía. El Sello FIDE garantiza a los usuarios la compra de productos eficientes y fomenta la competitividad entre fabricantes y comercializadores.	1992-Actual
	Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética (NOM-ENER)	Normas de aplicación obligatoria. Consisten en especificaciones técnicas que determinan los valores límite de eficiencia o consumo en equipos y aparatos de uso doméstico, industrial y sector eléctrico.	1995-Actual
	Horario de verano*	Consiste en adelantar una hora los relojes durante el verano para modificar la hora de encendido de la luz en los intervalos en los que se muestra una variación en el consumo de energía. Inicia a las dos horas del primer domingo de abril y concluye a las dos horas del último domingo de octubre, a excepción de los municipios ubicados en la franja fronteriza norte.	1996-Actual
	Educación para el Uso Racional y Ahorro de la Energía Eléctrica (EDUCAREE)	Busca fomentar en centros educativos, culturales, organismos de participación social, empresas y organismos internacionales, la formación del individuo en la cultura del ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica para contribuir con el desarrollo sustentable.	1999-Actual
Energético	Programas de ahorro de energía en las instalaciones del sector energético	CFE y PEMEX establecen metas de ahorro energético en sus instalaciones.	1996-Actual

Cuadro 2-7. Programas de eficiencia energética y otros DSM en México

Parte 2 de 2

Sector	Programa	Características	Vigencia
Público	Programa de Eficiencia Energética de la Administración Pública Federal (APF)	Promueve el aprovechamiento sustentable de la energía y un proceso de mejora continua para fomentar la eficiencia energética en inmuebles, flotas vehiculares e instalaciones de las dependencias y entidades del Gobierno Federal.	1999-Actual
	Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal	Apoya técnica y financieramente a los municipios para impulsar la eficiencia energética a través de la sustitución de sistemas ineficientes de alumbrado público por eficientes.	2010-Actual
MiPYMEs	Programa de Ahorro y Eficiencia Energética Empresarial (PAEEEM)*	También denominado "Eco-Crédito Empresarial". Otorga financiamiento a tasa preferencial a los usuarios con tarifas 2 y 3, quienes en su mayoría son micro, pequeñas y medianas empresas (MiPYMEs), para la sustitución de equipos eléctricos ineficientes por equipos eficientes, o a empresas que desean adquirir equipos nuevos que cumplan las normas de eficiencia energética y con el sello FIDE.	2011-Actual
Transporte	Decretos y normas de rendimientos mínimos de combustibles para vehículos de pasajeros ligeros	Establecen rendimientos de combustible por kilómetro y control de contaminación. Actualmente, la norma vigente es la NOM-042-SEMARNAT-2003 (publicada en 2005), que incluye emisión de hidrocarburos no metano o evaporativos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas.	1981-Actual
	Transporte limpio	Programa voluntario dirigido al autotransporte federal de carga, pasaje, turismo y privado, con el objetivo de que reduzcan el consumo de combustible, las emisiones de GEI y los costos de operación del transporte.	2010-Actual
	NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013	Norma que establece los parámetros de emisiones de CO ₂ por kilómetro para vehículos de pasajeros ligeros (peso bruto que no exceda 3,857 kg) nuevos que utilizan gasolina o diesel.	2013-Actual
Residencial	Fideicomiso para el Aislamiento Térmico de la Vivienda (FIPARTERM)	Inicialmente se creó para el aislamiento térmico de techos de viviendas en Mexicali, Baja California. Actualmente se denomina Programa de Ahorro Sistemático Integral (ASI), se amplió geográficamente y considera, además de techos, sellos para puertas y ventanas y sustitución de equipos de aire acondicionado y focos incandescentes.	1990-Actual
	Programas de lámparas ahorradoras*	Sustitución de lámparas incandescentes por lámparas ahorradoras. El primer programa de este tipo fue "ILUMEX" entre 1995 y 1996. Posteriormente la sustitución quedó a cargo del FIDE y se han implementado otros programas similares como "Luz Sustentable" entre 2009 y 2011; y "Ahórrate una luz" en poblaciones rurales y semiurbanas a partir de 2015.	1995-Actual
	Establecimiento de la tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC)	Aplicación de tarifa sin subsidio a usuarios del sector residencial cuando se registra un consumo mensual promedio que excede el límite de alto consumo definido para la localidad en los últimos 12 meses.	2002-Actual
	Programa de Sustitución de Equipos Electrodomésticos (PSEE)*	También conocido como "Cambia tu viejo por uno nuevo". Sustitución de refrigeradores o equipos de aire acondicionado con diez o más años de uso por nuevos aparatos ahorradores de energía, mediante apoyo directo o financiamiento.	2009-2012
	Hipotecas Verdes	El INFONAVIT otorga créditos para comprar, construir, ampliar o remodelar una vivienda con accesorios ahorradores de agua, luz y gas, como llaves, focos y calentadores solares.	2009-Actual

* Programas que forman parte del FIDE.

Elaboración propia con base en datos de ASI (2018), CFE (2017), CONUEE (2015), de Buen (2004), FIDE (2015), Ibarra (2013), SEMARNAT (2015), SEMARNAT-INEEC (2012) y SENER (2014).

Medir el avance de la eficiencia energética y otras DSM es una tarea compleja que carece de una metodología estándar. No obstante, una de las opciones más utilizadas es un índice de intensidad energética (IE). La intensidad energética es la relación entre la energía consumida y un parámetro impulsor. Un parámetro impulsor es un factor que en cierto modo determina las necesidades de energía. Mientras mayor sea el nivel de desagregación de los datos utilizados para la construcción del índice de IE, mejor será tal indicador.

La intensidad energética de tipo macroeconómico constituye el indicador más difundido en torno a la eficiencia energética (aunque también el más agregado), cuyo parámetro impulsor es el PIB. La intensidad energética macroeconómica se calcula mediante la relación entre el consumo nacional de energía y el PIB ($IE = \frac{CNE}{PIB}$) y nos indica cuántas unidades energéticas son necesarias para producir una unidad de PIB. Habitualmente se dice que si la IE macroeconómica se reduce, los procesos productivos son más eficientes (utilizan menos energía por cada unidad de PIB o generan más PIB con la misma cantidad de energía). Pero en un análisis más detallado, es necesario apuntar que este índice, al considerar el consumo nacional de energía, incluye tanto el consumo de energía del sector energético (el lado de la oferta del Esquema 1), como el consumo de energía de uso final (el lado de la demanda del Esquema 1), por lo que un cambio en la IE macroeconómica podría estar asociado con cambios en una amplia gama de variables, como la producción de energía, la estructura económica, el tipo de cambio, el clima, el comportamiento de los consumidores, entre otros, y no precisamente con mayor eficiencia en los sectores productivos. Así, la IE macroeconómica no es un indicador fiel de la eficiencia energética del sector productivo, aunque puede ser útil si se analiza cuidadosamente y se complementa con otros datos, ya sean cuantitativos o cualitativos.

En el sector de la oferta de energía (sector energético), las posibilidades de ahorro de energía comprenden la eficiencia de los procesos que realiza el sector energético (exploración, producción, transformación y distribución de energía), ya sea para suministro interno o exportación de energía. En el sector energético, el parámetro impulsor es la cantidad de energía generada, por lo que la intensidad energética puede ser calculada como

$$IE = \frac{\text{Energía consumida en el sector energético}}{\text{Energía generada}}$$

Del lado de la demanda energética, las posibilidades de ahorro energético pueden ocurrir en diversos sectores, pues existen múltiples consumidores de múltiples formas de energía final. En este ámbito, la intensidad energética a nivel sectorial constituye una forma de dar seguimiento a la eficiencia energética y otras estrategias DSM. La intensidad energética sectorial considera la energía de uso final consumida por sector o subsector y el parámetro impulsor puede ser de tipo económico o físico. El Cuadro 2-8 desglosa algunas opciones para estimarla.

Cuadro 2-8. Intensidad energética sectorial del lado de la demanda de energía

Sector	Subsector o Actividad	Uso final	Parámetro impulsor	Intensidad energética
Productivo	Agricultura	Vapor Calor directo Fuerza motriz Electricidad	PIB del subsector	$IE = \frac{\text{Consumo energía final}}{\text{PIB sectorial}}$
	Construcción			
	Minería			
	Manufactura			
	Servicios			
Transporte	Carga	Combustible para tren, camión, avión, etc.	Toneladas-kilómetro	$IE = \frac{\text{Consumo energía final}}{\text{ton} - \text{km}}$
	Pasajeros	Combustible para auto, autobús, avión, etc.	Pasajeros-kilómetro	$IE = \frac{\text{Consumo energía final}}{\text{pas} - \text{km}}$
Residencial	Rural	Cocción de alimentos Calentamiento de agua Iluminación	Número de viviendas	$IE = \frac{\text{Consumo energía final}}{N^\circ \text{ viviendas}}$
	Urbano	Electrodomésticos Calefacción	Número de habitantes	$IE = \frac{\text{Consumo energía final}}{N^\circ \text{ habitantes}}$
		Aire acondicionado Otros	Área de piso	$IE = \frac{\text{Consumo energía final}}{m^2}$
Público y Servicios	Gobierno	Calefacción Iluminación Aire acondicionado Tecnologías de información Otros	Área de piso	$IE = \frac{\text{Consumo energía final}}{m^2}$
	Comunicaciones			
	Bancos			
	Comercio			
	Otros			

Elaboración propia con base en la metodología MAED (*Model for Analysis of Energy Demand*) desarrollada por la *International Atomic Energy Agency* (IAEA, 2015).

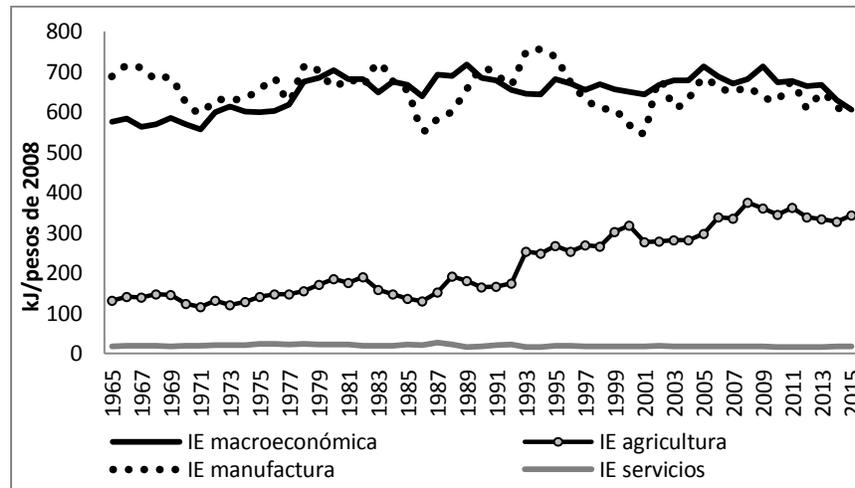
En términos económicos, el Gráfico 2-3 y el Cuadro 2-9 brindan algunas ideas de los alcances de la eficiencia energética y otras DSM en México. Entre 1965 y 1980 la intensidad energética macroeconómica creció significativamente, pasó de 576 a 703 kilojoules por pesos de 2008 (kJ/\$ 2008), influida al menos en cierta medida por el descenso de la participación del sector primario (con bajos requerimientos de energía) en el PIB, que cayó de 13.7 a 8.2% en dicho periodo (INEGI, 2014a). El cambio en la estructura económica ha continuado paulatinamente, empero éste no parece relacionarse de forma directa con los cambios siguientes del indicador. En la década de 1980's, la IE presentó

algunas oscilaciones y en la de 1990's comenzó una tendencia a la baja, que algunos interpretan como el resultado de las primeras estrategias de eficiencia energética puestas en práctica (de Buen, 2015). Sin embargo, al inicio de este siglo el índice repuntó, en 2005 y 2009 registró sus puntos más álgidos hasta ahora (713 y 712 kJ/\$ 2008, respectivamente) y prácticamente de 2002 hasta 2013 se mantuvo alto. En 2014 y 2015 se registraron descensos importantes, lo que en 2015 colocó al indicador en 604.5 kJ/\$ 2008, el nivel más bajo desde 1977.

A nivel sectorial, la manufactura es el sector con un uso más intensivo de energía, y aunque ha presentado algunas variaciones, no hay una tendencia clara que apunte a una caída en su intensidad energética. El sector agrícola, por su parte, con una intensidad mucho menor que el sector manufacturero, ha mostrado una trayectoria sin duda al alza, impulsada principalmente por la tecnificación de la agricultura, que aunque en el país aún está rezagada, sí implica por lo menos un consumo más intensivo de diesel. Finalmente, el sector servicios ha permanecido con una baja intensidad energética.

De acuerdo con Navarrete y de Buen (2017), la tendencia irregular de la IE en México en los últimos 15 años refleja, por un lado, ineficiencias en el sector energético que determinan su propio consumo de energía, como por ejemplo, la mezcla de energéticos para la generación de electricidad, la baja productividad de las refinerías y los centros procesadores de gas que ha sido cubierta con importaciones, el uso creciente de gas natural para la reinyección de pozos petroleros en campos maduros, y el aumento de pérdidas en transformación y distribución; por otro lado, refleja mejoras en la IE de algunos sectores de consumo final, principalmente aquellos donde las políticas de eficiencia energética se han concentrado, como los sectores residencial y comercial-servicios.

Gráfico 2-3. Intensidad energética macroeconómica y sectorial en México, 1965-2015



Elaboración propia con base en datos de INEGI (2018b), SIE (2018) y WB (2018).

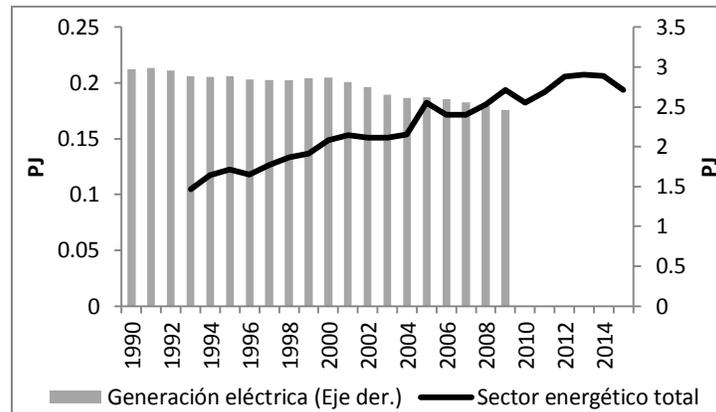
Cuadro 2-9. Tasa de crecimiento acumulada de la intensidad energética por sector en México, 1965-2015 (%)

Periodo/Sector	Total	Agricultura	Manufactura	Servicios
1965-2015	5	160	-15	2
1965-1980	22	41	-4	25
1980-1990	-3	-11	7	-20
1990-2000	-5	93	-20	1
2000-2015	-7	8	4	1

Elaboración propia con base en datos de INEGI (2018b), SIE (2018) y WB (2018).

Efectivamente, al analizar la oferta de energía en términos físicos se corrobora que la IE del sector energético mexicano en conjunto ha presentado una tendencia desfavorable desde la década de 1990's, es decir, que el sector energético consume más energía por cada unidad de energía generada: mientras en 1993 la IE medida por la relación energía consumida/energía generada era de 0.10, para 2015 dicha relación llegó a 0.19 (ver línea del Gráfico 2-4). Esta tendencia no ha sido homogénea en todo el sector, entre 1990 y 2009 en la generación de energía eléctrica a partir de la quema de combustibles en el Sistema Eléctrico Nacional y los auto-productores se presentó una ligera caída de la IE, de 2.96 a 2.46 (ver barras de Gráfico 2-4), aunque este índice no refleja las diferencias en las tecnologías de generación y en los procesos implementados en diversas plantas ni la pérdida de calor o fricción (SENER en colaboración con IEA, 2011).

Gráfico 2-4. Intensidad energética de la oferta de energía en México, 1990-2015



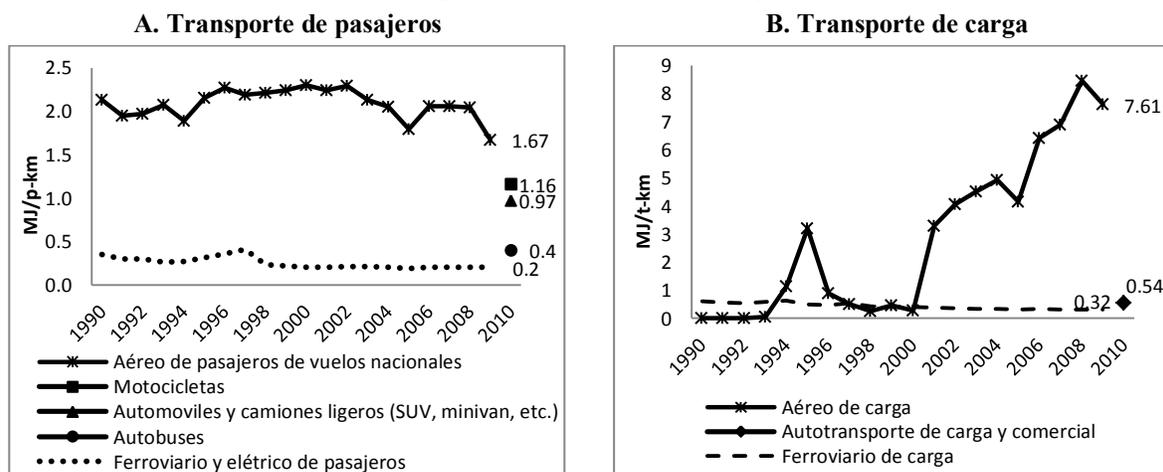
Elaboración propia con base en datos de SENER en colaboración con IEA (2011) y SIE (2018).

De lado de la demanda de energía, el sector transporte es el principal consumidor de energía de uso final y un sector casi cautivo del petróleo, en el cual las estrategias de eficiencia energética se han enfocado primordialmente en el rendimiento del combustible por kilómetro recorrido y el control de contaminantes para vehículos ligeros (ver Cuadro 2-7). A pesar de la gran importancia del sector transporte en el consumo nacional de energía, la eficiencia energética en el transporte estuvo relegada a un tema secundario en la propia CONUEE (de Buen, 2013), aspecto que en años recientes se ha modificado, por lo que se esperaría un mayor impulso a la eficiencia energética del transporte en los próximos años, así como la generación de mayor información que permita dar seguimiento al tema.

Por ahora, los indicadores de eficiencia energética en el transporte son escasos, no obstante, con los datos disponibles se construyeron los Gráficos 2-5A y 2-5B. Estos gráficos muestran la trayectoria de la intensidad energética en el transporte de pasajeros y en el transporte de carga, medidas en megajoules por pasajero-kilómetro transportados (MJ/p-km) y en megajoules por tonelada-kilómetro transportadas (MJ/t-km), respectivamente. Según los indicadores más recientes, en 2009-2010 la modalidad más eficiente en el transporte de pasajeros fue el transporte ferroviario y eléctrico (representado principalmente por el transporte público urbano de la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey), aunque éste solo movió el 1.2% de los pasajeros-kilómetro (p-km) transportados en el país. En contraste, los automóviles y camiones ligeros (incluidos taxis) transportaron el 69% de p-km y su intensidad energética fue 5 veces mayor que la del

transporte ferroviario y eléctrico. Los autobuses fueron la segunda modalidad que más p-km transportó (28%), con una intensidad energética que duplicó la del sector ferroviario y eléctrico, pero considerablemente menor que la de los automóviles. En el transporte de carga, los camiones abarcaron el 95% de las toneladas-kilómetro (t-km) transportadas, su intensidad energética fue muy aceptable si se compara con la de los aviones de carga, aunque más alta que la del transporte ferroviario. Es de notar que en el transporte de carga, la intensidad energética de los aviones ha crecido de forma considerable, lo cual podría estar relacionado con la naturaleza perenne de los productos que transporta, por lo que se realizan los vuelos sin completar la carga máxima; esta modalidad transportó apenas el 0.008% t-km de carga en el país (SENER en colaboración con IEA, 2011).

Gráfico 2-5. Intensidad energética en el sector transporte en México, 1990-2010



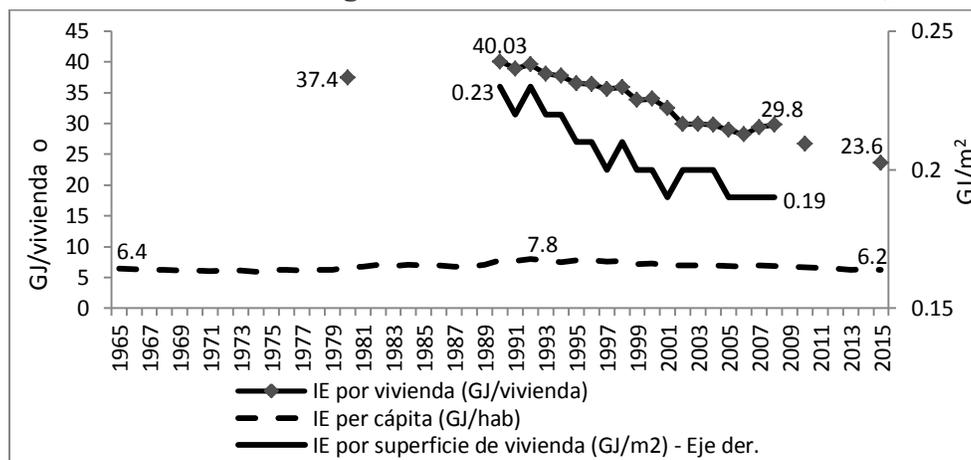
Elaboración propia con base en datos de SENER en colaboración con IEA (2011).

Con los datos referidos, no se verifican avances considerables en la intensidad energética del sector transporte e incluso se observa un uso extendido de modalidades de transporte con alta intensidad energética. Aunado a lo anterior, hay poca participación del uso masivo de transporte público u otras formas de transporte sustentable, tampoco hay muchos avances en la planeación de las ciudades para reducir la demanda de traslados, y la tasa de motorización privada ha mostrado un crecimiento muy alto, aumentó de 10 vehículos por cada cien habitantes en 2000 a 19 en 2010, donde figuran adquisiciones de vehículos usados de bajo costo (OCDE-Centro Mario Molina, 2013).

En contraste con el sector transporte, el sector residencial ha sido el sector en el que las medidas de eficiencia energética más han recaído (ver Cuadro 2-7). Una posibilidad de aproximar los avances en esta materia es la intensidad energética medida a través del consumo de energía final del sector residencial por habitante, por vivienda o por metro cuadrado. El Gráfico 2-6 evidencia que la IE per cápita en el sector residencial entre 1965 y 1992 creció casi 22%, lo cual se explica fundamentalmente por un fuerte crecimiento en el consumo de gas y electricidad. Posteriormente, entre 1992 y 2015 la IE per cápita se redujo alrededor del 20%, con lo cual se colocó en un nivel muy similar al de 1965, lo que podría ser un signo positivo, pues en la actualidad las personas en sus hogares gozan de una mayor cantidad de servicios proveídos por energía que en 1965. Por su parte, la IE por vivienda cayó 26% entre 1990 y 2008, mientras que la IE por metro cuadrado decreció 17% en el mismo periodo. De 2008 a 2015 la IE por vivienda cayó 21% más.

La caída de la IE por vivienda (26%) mayor que las de la IE per cápita (12%) y la IE por metro cuadrado (17%) —datos para el periodo 1990-2008— podría relacionarse con cambios en el número de habitantes por vivienda y la dimensión de las viviendas y no solo con un efectivo ahorro de energía. El promedio de ocupantes por vivienda en 1995 era de 4.7, para 2005 cayó a 4.2, y en 2015 a 3.7 (INEGI, 2018a); mientras que las dimensiones promedio de la vivienda social en México eran de 56.6m² en 1990, 52.4m² en el 2000 y 48.8m² en 2010 (Sánchez Corral, 2012).

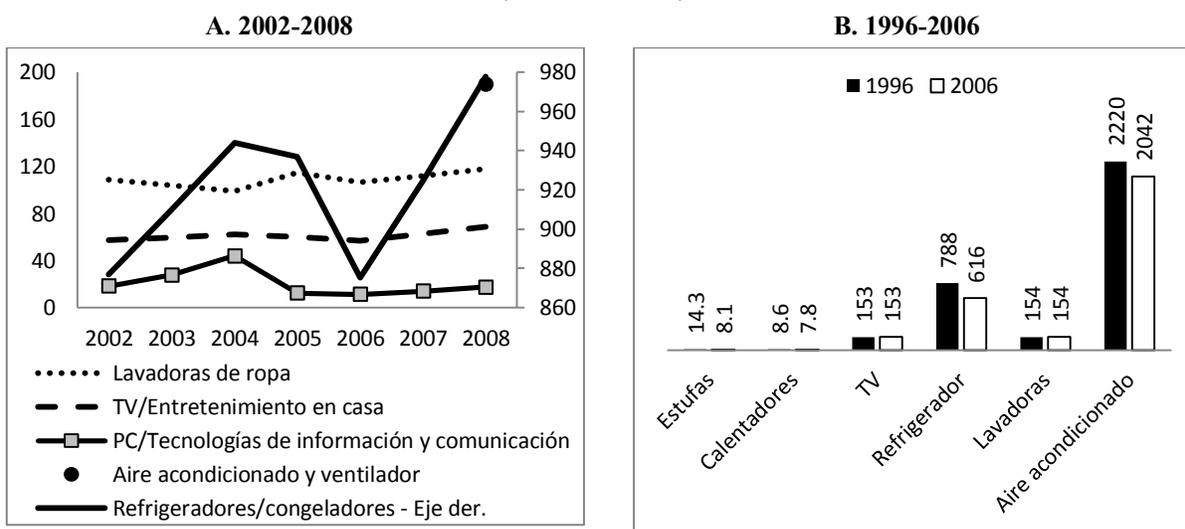
Gráfico 2-6. Intensidad energética en el sector residencial en México, 1965-2015



Elaboración propia con base en datos de INEGI (2014a; 2018a), SENER en colaboración con IEA (2011) y SIE (2018).

Otra forma de aproximación a la eficiencia energética del sector residencial es medir el consumo de energía de los aparatos que se utilizan. Sin embargo, en México hay poca información sobre las características de los aparatos con los que cuentan las viviendas. Los Gráficos 2-7A y 2-7B muestran algunos de los datos disponibles. El estudio de eficiencia energética de la SENER en colaboración con IEA (2011) indica el consumo energético promedio anual de PC/tecnologías de información y comunicaciones, TV/entretenimiento, lavadoras y refrigeradores/congeladores para el periodo 2002-2008, donde llama la atención que tres de los cuatro aparatos reportados muestran un mayor consumo de energía promedio por unidad en el año 2008 en comparación con el año 2002 (ver Gráfico 2-7A), lo que podría estar relacionado con el tipo de aparatos, su capacidad, sus funciones y el tiempo de uso. Por su parte, Rosas Flores, Sheinbaum y Morillón (2010) señalan que, entre 1996 y 2006, los consumos de energía promedio anual por unidad de lavadoras y TV no mostraron cambios, mientras que los siguientes aparatos registraron consumo promedio anual a la baja: equipos de aire acondicionado (-8%), calentadores de agua (-9%), refrigeradores (-22%) y estufas (-43%) (ver Gráfico 2-7B).

Gráfico 2-7. Consumo energético promedio anual por aparato en México (kWh/unidad)



Elaboración propia con base en datos de SENER en colaboración con IEA (2011).

Elaboración propia con base en datos de Rosas Flores, Sheinbaum y Morillón (2010).

Empero, por la falta de información anteriormente aludida, estas observaciones no son concluyentes. En la estimación del consumo promedio anual por aire acondicionado, por

ejemplo, se observan severos contrastes entre ambos estudios: 189.9 kWh en 2008 de acuerdo a SENER en colaboración con IEA (2011)⁹⁷ y 2,042 kWh en 2006 según Rosas Flores, Sheinbaum y Morillón (2010). Esta situación, evidencia la necesidad de mayor investigación y disponibilidad de datos que permitan obtener conclusiones más robustas e identificar áreas de oportunidad para el ahorro de energía en relación con el equipamiento de los hogares.

Por otro lado, también relacionado con el equipamiento de los hogares, en este siglo se ha presentado un veloz crecimiento de equipos domésticos pequeños, como electrodomésticos y equipos de cocina, equipos de entretenimiento y tecnologías de información y comunicaciones, que los programas de eficiencia energética han descuidado, pues su atención se ha centrado primordialmente en aparatos domésticos grandes; uno de los aspectos cruciales de estos aparatos es un alto consumo en el “modo en espera” (*standby mode*) (Lezama, 2014). Según estimaciones de la CONUEE, en 2012 el consumo en modo en espera en las viviendas representó aproximadamente el 10% del consumo eléctrico total del sector residencial (Díaz Pichardo, 2013). Sobre este punto, la NOM-032-ENER-2013, publicada a inicios de 2014, estableció límites máximos de potencia eléctrica para equipos y aparatos que demandan energía en espera, empero ha pasado muy poco tiempo para tener reportes sobre su incidencia.

En conjunto, respecto a los impactos en el sector residencial en México por la aplicación de estrategias de eficiencia energética y otras DSM, de Buen, Hernández y Navarrete (2016) estimaron que de 1996 a 2014 se ahorraron 175,000 GWh (630 PJ) y se evitaron 82.5 MtCO_{2e}, donde las NOM-ENER representaron aproximadamente el 60% de dichos avances. Los autores destacaron que el impacto ha sido más significativo en las viviendas ubicadas en zonas con clima templado, ya que las políticas de eficiencia energética se han orientado principalmente al mejoramiento de equipos, pero han avanzado poco en la envolvente de edificaciones, que es lo que determina en mayor medida el consumo de energía en las viviendas ubicadas en zonas con clima cálido. En este contexto,

⁹⁷ Agrupa aire acondicionado y ventiladores.

el aislamiento térmico de las viviendas y edificaciones constituye una estrategia con amplio potencial para limitar el consumo energético futuro, pues se espera que las necesidades de enfriamiento crezcan debido al incremento de la temperatura, la tendencia a la urbanización, el crecimiento del sector servicios y los cambios en el estilo de vida hacia un mayor confort.

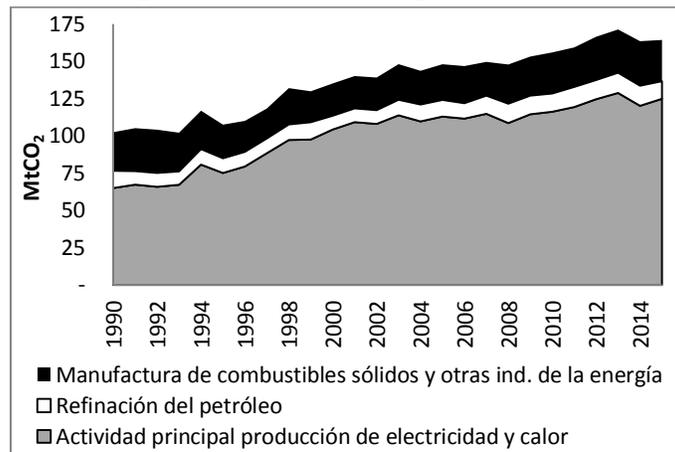
En esta revisión de las políticas de eficiencia energética y otras DSM en el sector residencial, cabe notar que, a pesar de que éstas han impactado favorablemente en la demanda eléctrica del sector, la demanda de gas y otros combustibles para generar calor ha recibido menor atención, y más aún, la demanda de transporte se ha aislado como un sector independiente, por lo que la demanda energética de los hogares no se analiza ni se atiende de manera integral. Por otro lado, debido a la escasa promoción de las políticas de conservación de la energía, hay un riesgo latente de la ocurrencia de la paradoja de Jevons (efecto discutido en el Capítulo 1), pues si el consumidor no es consciente de la importancia del ahorro de energía, su comportamiento puede neutralizar o revertir los efectos esperados de la eficiencia energética y otras DSM.

2.3. La trayectoria de las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles

Luego de analizar las principales políticas de mitigación que se han implementado en México, aquí se examina la trayectoria de las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles, como el indicador global sobre el que se pretende incidir.

A nivel sectorial, en el sector energético (encargado de suministrar energía final al resto de los sectores nacionales o al mercado internacional), la generación eléctrica limpia y algunas estrategias de eficiencia energética aplicadas en CFE y PEMEX evitaron la generación de emisiones de CO₂. Sin embargo, según datos de INECC-SEMARNAT (2018), la generación de emisiones de CO₂ de las industrias generadoras de energía creció 2% promedio anual entre 1990 y 2015 (60% acumulado), en donde la generación de electricidad mostró el crecimiento más significativo (ver Gráfico 2-8).

Gráfico 2-8. Generación de emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles en las industrias generadoras de energía en México, 1990-2015



Elaboración propia con base en datos de INECC-SEMARNAT (2018).

En los sectores que demandan energía final, las estrategias para mitigar emisiones han sido básicamente la eficiencia energética y otras DSM, sin embargo, continúa un crecimiento en el consumo de energía, si bien menor, aún con signo positivo y con base primordialmente fósil (ver Gráfico 2-9 y Cuadro 2-10).

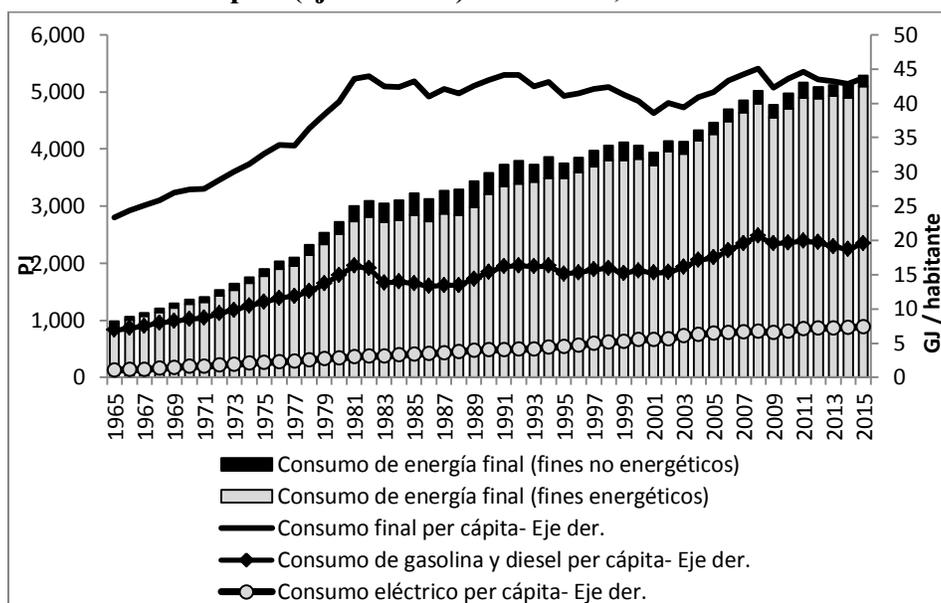
El Gráfico 2-9 exhibe la trayectoria del consumo de energía final, el cual es impulsado no solo por el crecimiento de la población (2.1% promedio anual entre 1965 y 2015), sino también por el crecimiento del consumo de energía final per cápita (1.3% promedio anual entre 1965 y 2015), donde destacan fuertes incrementos del consumo per cápita de electricidad (4.1% promedio anual entre 1965 y 2015) y de gasolina y diesel (2.2% promedio anual entre 1965 y 2015). Es evidente que el crecimiento de los indicadores mostrados fue más alto en los primeros quince años del periodo estudiado, y pese a que en los años 80's y 90's el ritmo de crecimiento se tornó más lento, en este siglo el crecimiento nuevamente cobró fuerza y se ha mantenido en un nivel alto. No hay un punto de quiebre que lleve al consumo de energía final claramente a la baja.

El Cuadro 2-10 muestra con qué tipo de energéticos se abasteció la demanda de energía final (con fines energéticos) y qué sectores fueron los que la demandaron. Los consumos de electricidad, gasolina y diesel son los que mayor peso ganaron en el periodo 1965-2015; en contraste el consumo de leña y bagazo de caña perdió paulatinamente

participación, para ser reemplazado por otro tipo de energéticos, principalmente por gas L.P. A nivel sectorial, el transporte fue por mucho el sector que más energía final demandó, en el 2015 representó el 46% del consumo final total energético, seguido de la manufactura y el sector residencial, 31 y 15%, respectivamente. Aunque la participación de estos últimos dos sectores en el consumo final energético declinó a través del tiempo, es de notarse que en términos absolutos ningún sector mostró menor consumo de energía final.

Ahora bien, al explorar las diez energías enlistadas en la parte superior del Cuadro 2-10, se verifica que la mayor parte de la energía final proviene de combustibles fósiles, por lo tanto, persiste una fuerte correlación entre el consumo de energía final y la generación de emisiones de CO₂ provenientes del uso de combustibles fósiles. En efecto, con los datos disponibles de emisiones de CO₂ por uso de combustibles a nivel sectorial entre 1990 y 2015 (INECC-SEMARNAT, 2018) y los datos de consumo energético final a nivel sectorial para los mismos años (SIE, 2018), los coeficientes de correlación entre las dos variables en cada sector fueron de: 0.80 en manufactura y construcción; 0.99 en transporte; y 0.93 en los sectores comercial, residencial, agropecuario y público.

Gráfico 2-9. Consumo de energía final (eje izquierdo) y consumo de energía final per cápita (eje derecho) en México, 1965-2015



Elaboración propia con base en datos de SIE (2018).

Cuadro 2-10. Consumo final energético por tipo de energía y por sector en México, 1965-2015

	Energía o Sector / Indicador y Año	Consumo final (PJ)			Participación en el consumo (%)			Crecimiento en el periodo (%)		
		1965	1992	2015	1965	1992	2015	1965-1992	1992-2015	1965-2015
Tipo de energía	Carbón	N/D	N/D	85	0	0	2	-	-	-
	Renovables*	228	369	299	24	11	6	61	-19	31
	Coque total	24	51	191	3	2	4	114	273	699
	Gas L.P.	62	350	418	7	10	8	465	19	574
	Gasolinas y naftas	180	914	1,500	19	27	29	409	64	735
	Querosenos	69	97	155	7	3	3	41	59	124
	Diesel	109	489	869	12	14	17	348	78	697
	Combustóleo	103	269	23	11	8	0	160	-91	-78
	Gas seco	123	506	660	13	15	13	311	31	436
	Electricidad	44	351	895	5	10	18	705	155	1,953
	Total	942	3,396	5,095	100	100	100	-	-	-
Sector	Residencial	269	686	755	29	20	15	155	10	180
	Comercial	24	112	164	3	3	3	358	47	574
	Público	3	18	32	0	1	1	416	84	846
	Transporte	275	1,373	2,362	29	40	46	399	72	758
	Agropecuario	41	91	179	4	3	4	121	96	334
	Manufactura	328	1,110	1,588	35	33	31	238	43	384
	Construcción	0.3	6	14	0	0	0	1,860	118	4,169
	Total	942	3,396	5,095	100	100	100	-	-	-

*Incluye leña, bagazo de caña y solar.

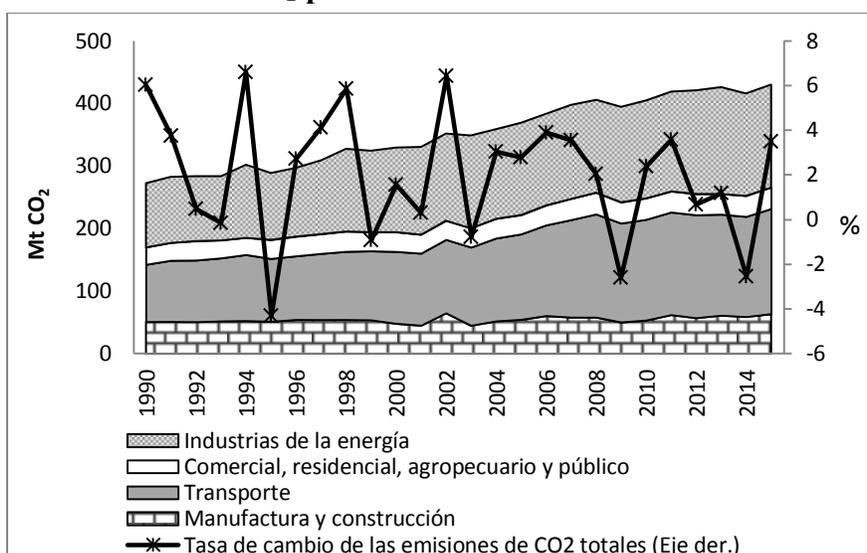
Elaboración propia con base en datos de SIE (2018).

El Gráfico 2-10 y el Cuadro 2-11 muestran la trayectoria de las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles a nivel sectorial en México para el periodo 1990-2015 y evidencian que la trayectoria de dichas emisiones en conjunto no ha cambiado drásticamente. A lo largo del periodo señalado, las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles crecieron aproximadamente 58%. Si bien entre 1990 y 2002 se observaron tasas de crecimiento anuales en promedio más elevadas que el resto del periodo (2.2% promedio entre 1990 y 2002 y 1.6% promedio entre 2002 y 2015), no se percibe una estabilización de estas tasas en los niveles necesarios para cumplir con las metas de mitigación; entre 2014 y 2015, por ejemplo, la tasa de crecimiento fue de 3.5% (ver línea negra en el eje derecho del Gráfico 2-10).

A nivel sectorial, el transporte y las industrias de la energía fueron los sectores que mayor crecimiento de emisiones presentaron (84% y 61%, respectivamente), un hecho

preocupante porque son precisamente estos sectores los que desde el inicio del periodo mayor participación han presentado en el total de las emisiones. Por su parte, las industrias de manufactura y construcción y el grupo de sectores comercial, residencial, agropecuario y público mostraron crecimientos menores (25% cada uno), lo que conjugado con el crecimiento de las emisiones en el resto de los sectores, los llevó a un descenso en su participación relativa en las emisiones totales (ver Cuadro 2-11).

Gráfico 2-10. Emisiones de CO₂ por uso de combustibles fósiles en México, 1990-2015



Elaboración propia con base en datos de INECC-SEMARNAT (2018).

Cuadro 2-11. Emisiones de CO₂ por uso de combustibles fósiles en México, 1990-2015

Sector / Indicador y año	Emisiones de CO ₂ (Mt)			Participación (%)			Crecimiento promedio anual (%)		Crecimiento acumulado (%)
	1990	2002	2015	1990	2002	2015	1990-2002	2002-2015	1990-2015
Manufactura y construcción	50.6	64.5	63.3	18.6	18.3	14.7	2.7	0.7	25.1
Transporte	91.4	117.4	167.9	33.6	33.4	39.0	2.1	2.9	83.6
Comercial, residencial, agropecuario y público	27.7	30.4	34.5	10.2	8.7	8.0	0.9	1.0	24.6
Industrias de la energía	102.5	139.1	164.3	37.6	39.6	38.2	2.7	1.3	60.4
Total	272.2	351.4	429.9	100.0	100.0	100.0	2.2	1.6	58.0

Elaboración propia con base en datos de INECC-SEMARNAT (2018).

Si bien es difícil estimar en qué nivel estarían el consumo de energía y la generación de emisiones de CO₂ de no haberse implementado las políticas de generación eléctrica limpia, eficiencia energética y DSM, con base en la recolección de algunos datos se colige que las

proporciones de ahorro energético y de emisiones de CO₂ evitadas a partir de dichas políticas en el periodo de implementación son menores al 1% respecto al consumo nacional de energía y las emisiones totales de CO₂ por consumo de combustibles fósiles, respectivamente (ver Cuadro 2-12), de modo que un efecto de mayor trascendencia solo podría considerarse en el largo plazo.

Cuadro 2-12. Ahorro energético y emisiones de CO₂ evitadas a partir de las estrategias climáticas en México

Estrategia climática	Periodo	Ahorro energético			Emisiones de CO ₂ evitadas	
		GWh	PJ	Proporción respecto al consumo nacional de energía (%)	Miles de toneladas de CO ₂	Proporción respecto a las emisiones de CO ₂ por consumo de combustibles fósiles (%)
Generación eléctrica con energía eólica	2011	-	-	-	780.0	0.1864
NOM-ENER para equipos eléctricos de uso doméstico	1996-2014	100,000.0	360.0	0.2517	-	-
NOM-ENER	2009-2011	6,112.0	22.0	0.0872	4,079.0**	0.3351
Horario de verano	1996-2014	21,807.0	78.5	0.0549	-	-
	2009-2011	3,628.0	13.1	0.0518	2,421.4	0.1989
	2014	1,122.8	4.0	0.0467	546.0**	0.1314
Programas y proyectos del FIDE*	2009-2011	3,703.2	13.3	0.0529	2,668.0	0.2192
	2013	51.0	0.2	0.0020	24.8	0.0058
Protocolo de Eficiencia Energética en la Administración Pública Federal	2009-2011	2,287.0	8.2	0.0326	1,526.0**	0.1254
Transporte limpio	2009-2011	-	-	-	977.9	0.0803
Metas de ahorro de energía de Pemex	2014	-	4.8	0.0555	-	-
Metas de ahorro de energía de CFE	2014	-	3.7	0.0428	-	-

*Los cálculos de 2009-2011 no incluyen horario de verano. **Miles de toneladas de CO₂e.

Elaboración propia con base en datos de Borja Díaz (2012), CONUEE (2015), de Buen y Hernández (2015), FIDE (2015) y SEMARNAT-INECC (2012).

2.4. Conclusiones

La generación eléctrica limpia, la eficiencia energética y otras DSM son las principales estrategias de mitigación que se han aplicado en México, las cuales buscan reducir la generación de emisiones de CO₂ por uso de combustibles fósiles (con enfoque territorial). Estas estrategias han sido impulsadas desde un marco legislativo e institucional que a pesar de ser amplio y dinámico, presenta diversos inconvenientes, por ejemplo, falta de estrategias claras y ajustes discrecionales.

Sobre el impulso a las energías renovables para la producción de electricidad, los alcances han sido limitados. Actualmente la matriz de producción eléctrica mexicana es una matriz preponderantemente fósil. En 2015, el sesgo fósil en la producción eléctrica para servicio público ascendió a 81%; mientras que en la producción privada, el 74% de la generación eléctrica se hizo con base en fósiles. En conjunto, entre 1965 y 2015, a pesar de que ha crecido el aprovechamiento de recursos renovables, el crecimiento de la producción eléctrica ha superado al primero y, por ende, la participación relativa de los recursos renovables ha descendido. Inclusive si en 2015 se hubiera utilizado el potencial total de recursos renovables probados (técnica y económicamente factibles), la participación fósil habría alcanzado el 65%. De lo anterior se desprende una consecuencia importante, para que el aprovechamiento de energías renovables tenga un alcance significativo en la matriz de generación de energía eléctrica es indispensable que se reduzca el consumo de ésta, pues su elevada y creciente demanda determina, al menos en parte, su nivel de producción.

Para reducir el consumo de energía, se han implementado políticas de eficiencia energética y otras estrategias de gestión de la demanda de energía (DSM), las cuales abarcan una amplia variedad de sectores. En México, la mayor parte de estas políticas se han encaminado a reducir la demanda de energía eléctrica mediante la mejora en la tecnología de aparatos y equipos eléctricos. De tal modo, se ha prestado menor atención a la reducción de la demanda de otro tipo de energía, así como al impulso a la conservación de la energía, la cual se relaciona primordialmente con el comportamiento de los consumidores de energía. A nivel sectorial, la implementación de estas políticas no ha sido homogénea, mientras en el sector residencial se han aplicado diversas estrategias, en el sector transporte —el principal consumidor de energía— las estrategias han sido escasas, se observa un uso masivo y creciente de formas de transporte ineficientes y pocos avances en estrategias alternativas que reduzcan la demanda de traslados e incentiven el uso de transporte público u otras formas de transporte sustentable.

De forma agregada, los alcances de las políticas de eficiencia energética y otras DSM, que comenzaron a implementarse al final de la década de 1980's y principios de 1990's, no son claros: la intensidad energética macroeconómica se mostró estable en la

década de 1980's, posteriormente a la baja en 1990's, para después repuntar de forma preocupante en el presente siglo, excepto en 2014 y 2015, donde finalmente cayó a 604 kJ/\$ 2008 (el punto más bajo desde 1977). Las oscilaciones en este indicador se explican por las diferentes trayectorias de intensidad energética de cada uno de los sectores que consumen energía. En el sector energético, por ejemplo, se registraron tendencias desfavorables (en 1993 la IE medida por la relación energía consumida/energía generada era de 0.10, para 2015 dicha relación llegó a 0.19), mientras que en los sectores de consumo final se observaron algunos avances, principalmente en el sector residencial (entre 1990 y 2008, las intensidades energéticas por vivienda, per cápita y por metro cuadrado cayeron 26, 12 y 17%, respectivamente). En los sectores productivos, la intensidad energética más alta se registra en la manufactura, posteriormente en la agricultura y finalmente en el sector servicios; mientras la manufactura y los servicios no han mostrado cambios abruptos en su índice de intensidad energética, la intensidad energética de la agricultura ha crecido considerablemente (de 165 a 342 kJ/\$ 2008 entre 1990 y 2015).

En suma, hasta ahora el conjunto de estrategias de mitigación implementadas en el país no ha logrado marcar un punto de inflexión a partir del cual se visualice una tendencia a la baja en la generación de las emisiones de CO₂ por uso de combustibles fósiles. Las emisiones de CO₂ del sector energético crecieron 60% entre 1990 y 2015, principalmente como consecuencia del crecimiento en la generación de energía eléctrica. Mientras que en los sectores de consumo de energía final se aprecia una creciente demanda de energía (tanto en términos absolutos como en términos per cápita) y una estrecha correlación entre el consumo de energía final y la generación de emisiones de CO₂. De tal forma, entre 1990 y 2015, las emisiones de manufactura y construcción crecieron 25%, las del transporte 84% y las del conjunto comercial, residencial, agropecuario y público 25%. De forma agregada, estas tendencias se traducen en un crecimiento importante de la generación de emisiones de CO₂ por uso de combustibles fósiles: 2.2% promedio anual entre 1990 y 2002, 1.6% promedio anual entre 2003 y 2015 y 58% acumulado entre 1990 y 2015.

3. LA DEMANDA DE BIENES Y SERVICIOS DE LOS HOGARES Y LAS EMISIONES DE CO₂ EN MÉXICO ENTRE 1990 Y 2014

3.1 Introducción

El objetivo primordial de este capítulo es realizar un análisis cuantitativo para estudiar la relación entre los patrones de gasto de los hogares por nivel de ingresos en México y la generación de emisiones de CO₂ totales (directas e indirectas) entre 1990 y 2014.

Como se refirió en el Capítulo 1, durante la revisión de la literatura se identificaron básicamente dos enfoques para analizar dicha relación: ascendente (*bottom-up*) y descendente (*top-down*). Dado que en los esfuerzos de esta investigación no se han ubicado estos análisis para el caso de México, ambos enfoques fueron desarrollados en este capítulo. En primer lugar, el ascendente, mediante el cual se estimaron los niveles de emisiones de CO₂ directas, indirectas y totales de los hogares mexicanos por nivel de ingresos en el año 2012, a partir de lo cual se calculó la elasticidad gasto-emisiones de CO₂. Posteriormente, con el valor de dicha elasticidad y suponiendo que éste es constante a lo largo del tiempo, se aplicó un análisis descendente para 1990-2014 con el fin de estimar los niveles de emisiones de CO₂ de los hogares mexicanos por niveles de ingresos para todo el periodo.

A lo largo de este capítulo, se realiza la descripción metodológica y la discusión de los resultados de cada enfoque: en la sección 3.2 el enfoque ascendente y en la sección 3.3 el enfoque descendente. Después, en la sección 3-4 se comparan los resultados de ambos análisis, lo cual permite identificar tanto sus alcances como sus áreas de oportunidad. Finalmente, a manera de conclusiones, se enfatizan los hallazgos más relevantes.

3.2 Enfoque ascendente (*bottom-up*)

Cuando no hay suficiente información desagregada de las emisiones de CO₂ por producto o por industria, los análisis ascendentes de desigualdad y cambio climático generalmente emplean análisis I-P con información del gasto de los hogares y las emisiones de CO₂ a nivel sectorial. Así, para el caso de México se definió analizar el año 2012, pues para éste existe información de la MIP en el Sistema de Cuentas Nacionales de México (INEGI,

2014b), el gasto de los hogares en la ENIGH⁹⁸ (INEGI, 2013) y las emisiones de CO₂ en el INEGyCEI (INECC-SEMARNAT, 2018), así como información energética en el SIE (2018), que eventualmente ayudó a estimar datos no disponibles en las fuentes antes citadas.

3.2.1 Metodología y datos

Siguiendo la metodología de Golley y Meng (2012) con algunas adaptaciones⁹⁹, con el método conocido como *I-O plus Household Expenditure*, se estimaron las emisiones de CO₂ totales (directas e indirectas) de los hogares por nivel de ingresos en México en el año 2012. Las emisiones de CO₂ totales de los hogares k se expresan mediante:

$$TC_k = DC_k + IC_k = \sum_{i=1}^n f_i DE_{ik} + I^C y_k \quad [1]$$

donde,

TC_k = emisiones de CO₂ totales de los hogares k .

DC_k = emisiones de CO₂ directas de los hogares k .

IC_k = emisiones de CO₂ indirectas de los hogares k .

f_i = factor de emisión del energético i .

DE_{ik} = consumo directo del energético i de los hogares k .

I^C = vector de intensidades de CO₂ indirectas por sector.

y_k = vector de gasto por sector de los hogares k .

La metodología del cálculo de las emisiones de CO₂ directas por nivel de ingresos ($DC_k = \sum_{i=1}^n f_i DE_{ik}$) es utilizada con frecuencia en diversas investigaciones. Cuando no existe información sobre el consumo energético (en unidades físicas) de los hogares por nivel de ingresos, generalmente éste se aproxima a través del gasto monetario en energía e

⁹⁸ Aunque existe la Encuesta Nacional de Gastos de los Hogares (ENGASTO) de 2012 que reporta el gasto anual de los hogares en dicho año con base en una muestra de 70,320 viviendas, que es mucho mayor que la muestra de la ENIGH del mismo año (9,002 viviendas), se definió utilizar la ENIGH porque ésta, a diferencia de la ENGASTO, no solo provee datos del gasto, sino también del ingreso, un aspecto fundamental para el análisis de esta tesis.

⁹⁹ Golley y Meng (2012) realizaron estimaciones de consumo de energía y generación de emisiones de CO₂ en el sector de los hogares; y trabajaron datos y estimaciones en términos per cápita. En este análisis solo se realizaron estimaciones de generación de emisiones de CO₂ en el sector de los hogares; y se trabajaron datos y estimaciones a nivel de hogares (posteriormente se derivó un análisis per cápita).

información del precio de los energéticos. Posteriormente, con los factores de emisión de cada energético, se estiman las emisiones de CO₂ directas de los hogares por nivel de ingresos.

Por su parte, el cálculo de las emisiones de CO₂ indirectas por nivel de ingresos ($IC_k = I^C y_k$) es menos frecuente. Para estimar IC_k , la metodología de Golley y Meng (2012) combina la intensidad de emisiones de CO₂ de la producción económica a nivel sectorial con el gasto promedio de los hogares por nivel de ingresos en cada sector. En primer lugar, se crea un vector de intensidades de CO₂ directas de cada sector (D^C), las cuales se obtienen a partir de:

$$\text{Intensidad de CO}_2 \text{ directa} = \frac{\text{Emisiones de CO}_2}{\text{Producción económica a precios básicos}} \quad [2]$$

Posteriormente, con análisis I-P se obtiene un vector de intensidades de CO₂ indirectas sectoriales (I^C) que está dado por:

$$I^C = D^C(I - A)^{-1} \quad [3]$$

donde,

I^C = vector de intensidades de CO₂ indirectas por sector.

D^C = vector de intensidades de CO₂ directas por sector.

A = Matriz interindustria de coeficientes de insumos directos.

$(I - A)^{-1}$ = Matriz inversa de Leontief.

Luego, para obtener las emisiones de CO₂ indirectas por nivel de ingresos se multiplica I^C por el vector y_k , que es un vector de gasto por sector por tipo de hogar.

Finalmente, se suman las emisiones de CO₂ directas e indirectas de los hogares por nivel de ingresos para obtener las emisiones de CO₂ totales de los hogares por nivel de ingresos ($TC_k = DC_k + IC_k$).

Con respecto a las fuentes de información, como se señaló previamente, se utilizaron cuatro bases de datos públicas oficiales de México:

1) *MIP 2012 (INEGI, 2014b).*

Provee información de la actividad económica 2012 de sectores, subsectores y ramas (clasificación del SCIAN) con estructura producto por producto¹⁰⁰. Para los fines de esta investigación, se trabajó a nivel de subsectores, es decir con una MIP de 79x79.

2) *ENIGH tradicional 2012 (INEGI, 2013).*

Provee datos del ingreso y el gasto trimestral de los hogares mexicanos en 2012. Los ingresos y gastos totales de los hogares están dados por:

Ingreso total = *Ingreso corriente + Percepciones financieras y de capital*

Gasto total = *Gasto corriente + Erogaciones financieras y de capital*

y dentro de cada categoría hay conceptos monetarios y no-monetarios¹⁰¹.

Para este análisis, la ENIGH se trabajó a nivel de micro-datos mediante el programa Stata. Ya que la intención es verificar si los niveles de ingreso están relacionados con los niveles y la estructura del gasto, y a partir de ello con los niveles de emisiones de CO₂, los hogares se organizaron en deciles de acuerdo a su nivel de ingreso total¹⁰² (la mejor manera de analizar cuánto pueden gastar los hogares) y se consideraron sus gastos totales, ya que cualquier gasto puede relacionarse (directa o indirectamente) con la generación de emisiones de CO₂, así sean fracciones pequeñas en aquellos gastos que aparentemente no se relacionan con dicha generación (las erogaciones financieras, por ejemplo, generan emisiones de CO₂ indirectamente por la operación de las instituciones bancarias).

¹⁰⁰ La MIP producto por producto 2012 es una actualización de la MIP 2008. Para 2012 no hay información de la MIP industria por industria.

¹⁰¹ Para mayor detalle de la integración del ingreso y el gasto, ver el Anexo A.

¹⁰² Aunque esta forma de construir los deciles no toma en cuenta el efecto del tamaño del hogar —que hogares de mayor tamaño, con mayor número de perceptores, se ubiquen en estratos de ingreso alto, aunque la percepción de cada uno de los miembros sea pequeña (Cortés & Vargas, 2017)—, por ahora se consideró prudente trabajar con tal distribución, ya que el gasto también se reporta en términos de hogar y no per cápita.

Para obtener el ingreso y el gasto anual de los hogares, se supuso que los datos trimestrales de ingreso y gasto reportados en la ENIGH fueron iguales en todos los trimestres del año 2012¹⁰³.

3) *INEGyCEI (INECC-SEMARNAT, 2018)*.

Es un inventario de tipo territorial que contiene datos oficiales de las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero de México de 1990 a 2015. La serie reporta las emisiones agrupadas en cuatro categorías (clasificación del IPCC): 1) energía; 2) procesos industriales y uso de productos; 3) agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra; y 4) residuos. Además, reporta las emisiones de bunkers internacionales y CO₂ por quema de biomasa, categorías que, siguiendo las directrices del IPCC, no se suman al inventario final y solo se publican con fines informativos. Para fines de esta investigación se utilizó el INEGyCEI de 2012, específicamente los datos de la subcategoría 1A: emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles (ver Cuadro 3-1).

Cuadro 3-1. Emisiones de CO₂ en México, 2012

Categoría / Subcategoría	MtCO₂
Total de emisiones de nacionales	330.45
1 Energía	436.45
1A Consumo de combustibles fósiles	421.23
1B Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles	15.21
2 Procesos industriales y uso de productos	40.90
3 Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra	-147.80
4 Residuos	0.90
Información adicional	
Bunkers internacionales	3.75
Quema de biomasa	27.35

Elaboración propia con base en datos de INECC-SEMARNAT (2018).

4) *SIE (2018)*.

¹⁰³ Hasta ahora, la ENIGH 1984 es la única que ha recogido datos de los cuatro trimestres del año e incluso realizó una prueba del cuarto trimestre de 1983 (Cortés, 2012). Posteriormente, las ENIGH han sido aplicadas únicamente en el tercer trimestre de cada año (por considerarlo el trimestre más regular), por lo que, a falta de información, la alternativa más plausible para aproximar el gasto anual de los hogares fue suponer que los datos trimestrales fueron iguales en todos los trimestres del 2012.

Es la base de datos energéticos más amplia de México, se alimenta de diversos reportes oficiales y concentra información histórica energética del país. Los datos consultados en el SIE se utilizaron principalmente para la estimación de las emisiones de CO₂ directas de los hogares por nivel de ingresos.

Con la metodología y las fuentes de información seleccionadas, este análisis ascendente representa una buena alternativa para aproximar la diversidad en los niveles de emisiones de CO₂ por grupos de ingreso según la cantidad y la estructura de la demanda y es el primer análisis de este tipo que se realiza para el caso de México (para conocimiento de la autora). Sin embargo, dadas la metodología y las fuentes de información, se advierten también algunas limitaciones:

1. Por el propio diseño de la metodología, al usar la MIP nacional se supone que los bienes importados tienen la misma intensidad de carbono que los bienes de producción nacional.
2. Por la disponibilidad de información se presentan dos limitaciones principales:
 - a. Incompatibilidad entre los datos de la ENIGH y la MIP. Para el año 2012, los gastos totales reportados en la ENIGH representaron menos del 50% del consumo privado que fue reportado en la MIP. Mientras la ENIGH reportó un total de 1,212 MMM\$ como gasto total trimestral ejercido por los hogares (4,849 MMM\$/año), la MIP registró 9,940 MMM\$/año como demanda final del consumo privado. Este sub-reporte en la ENIGH, por un lado, derivará en una sub-estimación de las emisiones de CO₂ totales de los hogares, ya que la intensidad de carbono de los gastos por subsector se estima, en parte, con base en información económica de la MIP. Por otro lado, ya que el sub-reporte de la ENIGH puede afectar tanto la estructura como la distribución del gasto, las estimaciones de emisiones de CO₂ por grupo y por sector podrían estar igualmente distorsionadas.
 - b. El nivel de agregación de las emisiones de CO₂ en el INEGyCEI obliga a trabajar la MIP a un máximo de desagregación de subsectores, lo que lleva a

suponer la misma intensidad de CO₂ al interior de cada subsector, los cuales se conforman de ramas y productos heterogéneos.

3.2.2 Adaptaciones en la aplicación de la metodología

Dada la información disponible, su nivel de agregación y la compatibilidad de las fuentes, fue necesario realizar algunas adaptaciones para la aplicación de la metodología de Golley y Meng (2012) para el caso de México, las cuales se exponen a continuación.

3.2.2.1 Las emisiones de CO₂ directas

En línea con la contabilidad de emisiones de CO₂ basada en consumo discutida en el Capítulo 1, las emisiones de CO₂ directas de los hogares incluirían a las emisiones de CO₂ derivadas del consumo de energía por la quema de combustible como bien final de los hogares, lo cual incluye tanto combustibles usados en la vivienda (gas natural, gas L.P., etc.) como combustibles para el transporte (gasolina y diesel). En esta sección, para la estimación de las emisiones de CO₂ directas de los hogares se incluyeron también a las emisiones de CO₂ derivadas del consumo de electricidad, una práctica frecuente en análisis ascendentes como éste¹⁰⁴.

Ya que en México no existen datos oficiales del consumo energético de los hogares por nivel de ingresos, éste se aproximó mediante el gasto total en energía (monetario y no monetario) reportado en la ENIGH, el cual posteriormente fue convertido en petajoules (PJ) con base en los precios de cada energético¹⁰⁵ reportados en el SIE (2018) y los factores de conversión o poder calorífico neto de cada uno. Finalmente, el consumo energético fue convertido en emisiones de CO₂ con base en el factor de emisión (FE) correspondiente.

¹⁰⁴ El consumo eléctrico de los hogares evidentemente se asocia con consumo energético directo. Sin embargo, el CO₂ derivado de la energía eléctrica no se libera durante el consumo de ésta, sino durante su proceso de producción, por lo que dichas emisiones podrían considerarse como emisiones de CO₂ incorporadas en el servicio eléctrico y estimarse como emisiones de CO₂ indirectas. No obstante, en este ejercicio se decidió incluir a las emisiones de CO₂ de electricidad en las emisiones de CO₂ directas por dos razones: 1) porque se trata de consumo energético directo; 2) porque de tal forma se toman en cuenta las diversas tarifas del sector residencial y se logra una mejor aproximación al consumo eléctrico de los hogares por nivel de ingresos y a las emisiones de CO₂ que de éste derivan.

¹⁰⁵ Dado que la ENIGH 2012 se levantó entre el 27 de agosto y el 24 de noviembre de dicho año, los precios de los energéticos considerados fueron los precios promedio entre mayo y agosto de 2012, suponiendo que los gastos reportados correspondían al mes o bimestre anterior al levantamiento de la encuesta.

Debido a que los precios de los energéticos varían al interior del país y la ENIGH no cuenta con información de dichos precios por hogar, se hizo un esfuerzo para asignarlos a cada hogar de la muestra. Aunque esta asignación no es precisa, se considera más robusta que la asunción de un precio promedio nacional para cada energético. El Cuadro 3-2 muestra los datos de los energéticos considerados para la estimación de las emisiones de CO₂ directas, seguido de una breve explicación de cada rubro.

Cuadro 3-2. Energéticos consumidos por los hogares y asociados a emisiones de CO₂ directas en México, 2012

Energético		Precio promedio mayo-agosto	Factor de conversión	Poder calorífico neto (MJ/b)	Factor de emisión (tCO ₂ /PJ)
Energía eléctrica (por tarifas*)	1 Doméstico	1.08 \$/kWh	3.6 GJ/MWh	-	131,964
	1A Doméstico	0.95 \$/kWh			
	1B Doméstico	0.97 \$/kWh			
	1C Doméstico	0.96 \$/kWh			
	1D Doméstico	0.97 \$/kWh			
	1E Doméstico	0.86 \$/kWh			
	1F Doméstico	0.86 \$/kWh			
	DAC-Doméstica de Alto Consumo	3.63 \$/kWh			
Gas natural (por región)	Noreste	189.95 \$/GJ	-	-	55,820
	Noroeste	182.45 \$/GJ			
	Centro	165.41 \$/GJ			
	Centro-Occidente	136.33 \$/GJ			
	Sur-Sureste	188.70 \$/GJ			
Gas L.P.	Promedio nacional	11.26 \$/kg	11.60 b/t	4,175	62,436
Queroseno		N.D.	-	-	70,785
Gasolina Magna		10.20 \$/l	6.29 b/m ³	5,122	68,607
Gasolina Premium		10.86 \$/l	6.29 b/m ³	5,122	68,607
Diesel		10.52 \$/l	6.29 b/m ³	5,650	73,326

*Las tarifas 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E y 1F corresponden al sector residencial con temperaturas medias mínimas en verano de <25, 25, 28, 30, 31, 32 y 33°C, respectivamente.

Elaboración propia con base en datos de BP (2016), IPCC (1996), SENER (2013a) y SIE (2018).

Electricidad

Para los precios de la energía eléctrica se consideraron las ocho tarifas del sector residencial: 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F y DAC y se descartó el uso de un precio promedio nacional debido a la alta dispersión de los precios¹⁰⁶. Hasta ahora, la ENIGH no incluye información sobre la tarifa eléctrica de cada hogar, por lo que las tarifas eléctricas se asignaron con base en un reporte reciente de la CFE (2018) del número de usuarios y

¹⁰⁶ Media=1.28; desviación estándar=0.95; coeficiente de variación=74%.

consumo eléctrico por municipio. La tarifa para cada hogar de la ENIGH se definió en función de su ubicación municipal¹⁰⁷ y se supuso que cualquier hogar que rebasara el límite de alto consumo habría pagado la tarifa DAC. Aunque los datos tomados del reporte de la CFE (2018) corresponden a enero de 2018, por la disponibilidad de información se supone que son válidos para 2012, suponiendo así que, a pesar de las variaciones de la temperatura, la distribución entre climas templados y cálidos no ha variado significativamente y por lo tanto los hogares han mantenido la misma tarifa entre 2012 y 2018.

Por otro lado, para determinar el FE de la energía eléctrica se consideró que las emisiones de CO₂ de la generación eléctrica del sector público (CFE y PIE) en 2012 ascendieron a 124.6 MtCO₂ (INECC-SEMARNAT, 2018) y que su producción bruta ascendió a 944 PJ (SIE, 2018). Entonces, el factor de emisión medio de la energía eléctrica del sector público en México en 2012 fue de 131,964 tCO₂/PJ.

Combustibles para la vivienda

La ENIGH 2012 reportó los gastos en combustibles para la vivienda de los siguientes energéticos: gas L.P., gas natural, petróleo, diesel, carbón, leña, combustible para calentar, velas y veladoras y otros combustibles (cartón, papel, etc.). La mayor parte de dicho gasto se ejerció para la adquisición de gas L.P. (78%) y gas natural (12%), y en menores proporciones en los otros combustibles. En contraste con esta lista, el Balance Nacional de Energía (BNE) solo reportó el consumo energético en el sector residencial de cuatro combustibles: gas L.P., gas natural, queroseno y leña (SENER, 2013a; SIE, 2018); y el INEGyCEI reportó 19.8 MtCO₂ del sector residencial derivadas del consumo de gas L.P., gas natural y queroseno, y estimó (con fines informativos) 27.4 MtCO₂ por quema de leña en los hogares (INECC-SEMARNAT, 2018).

Para fines de esta investigación, se determinó estimar las emisiones de CO₂ directas por el consumo de tres combustibles para la vivienda —gas L.P., gas natural y queroseno— y se descartó al resto, en virtud de que:

¹⁰⁷ En la base de datos de la CFE (2018) se observa que algunos municipios cuentan con más de una tarifa al interior de ellos, pero no se sabe exactamente a qué localidad corresponden. Por lo anterior, se tomó la tarifa predominante en el número de usuarios como tarifa única por municipio.

- Del gas L.P. y el gas natural se cuenta con información completa para seguir la metodología seleccionada.
- Para el caso del queroseno, aunque no hay información completa, con la disponible se pueden aproximar sus emisiones de CO₂. En primer lugar, se supuso que el “queroseno” reportado en el BNE y el INEGyCEI está asociado con el consumo de “petróleo”, “diesel” y “combustible para calentar” reportados en la ENIGH¹⁰⁸. Segundo, ya que no hay información sobre el precio del queroseno, el consumo de dicho combustible (en unidades físicas) por nivel de ingresos se aproximó con la proporción del gasto en queroseno por tipo de hogar, mediante:

$$DE_{qk} = DE_q * \frac{y_{qk}}{y_q} \quad [4]$$

donde:

DE_{qk} = Consumo directo de queroseno por tipo de hogar k .

DE_q = Consumo directo de queroseno del sector residencial.

y_{qk} = Gasto total en queroseno de los hogares k .

y_q = Gasto total en queroseno de todos los hogares.

- Del carbón no hay información de precios ni de su consumo energético en el sector residencial en el BNE, por lo que no fue posible determinar su consumo por nivel de ingresos.
- Para el caso de la leña, aunque se cuenta con información del gasto en la ENIGH y del consumo energético del sector residencial en el BNE, gran parte de la leña consumida en los hogares mexicanos no pasa por el mercado. Por lo tanto, el gasto en leña que reporta la ENIGH, tanto en términos monetarios como no-monetarios, no es un referente del consumo de dicho energético. Además, cabe recordar que

¹⁰⁸ En la actualidad el consumo de queroseno en México en el sector residencial es pequeño y puede estar asociado con cocción de alimentos, lámparas o calefacción. Sin embargo, no hay información suficiente sobre este tipo de consumo e incluso la denominación “queroseno” es ambigua, en algunos lugares se le conoce como petróleo o petróleo diáfano, o simplemente se le refiere como el combustible para el hogar. Dada esta situación, se supone que los combustibles “petróleo”, “diesel” y “combustible para calentar” reportados en la ENIGH son querosenos, pues actualmente el petróleo y el diesel no forman parte del mercado de combustibles para el hogar y el combustible para calentar difícilmente podría asociarse con otro tipo de energético además de los ya enlistados en la ENIGH.

para fines de esta investigación interesan las emisiones de CO₂ derivadas de la combustión de fósiles.

- Los conceptos velas y veladoras y otros combustibles (papel, cartón, etc.) no generan emisiones de CO₂ derivadas de la combustión de fósiles, además de que no hay información de su consumo energético en el sector residencial en el BNE.

En cuanto a los precios del gas, al igual que en el caso de las tarifas eléctricas, se realizaron algunas adecuaciones. El SIE (2018) reporta los precios del gas L.P. como precios a usuarios finales en estados que participan total o parcialmente, de modo que en 2012 se registraron 163 precios; mientras que del gas natural reporta los precios finales para el sector residencial en 20 zonas de distribución¹⁰⁹. Para el caso del gas L.P. se determinó trabajar con el precio promedio nacional, ya que los 163 precios referidos presentaron variaciones menores¹¹⁰. Para el caso del gas natural, los precios mostraron una dispersión considerable¹¹¹, por lo que se decidió agrupar las zonas de distribución según la región de demanda del gas natural¹¹² y promediar los precios en cada región para así contar con precios diferenciados por región y entidad federativa.

Combustibles para el transporte

La ENIGH 2012 reportó el gasto de los hogares en combustibles para el transporte en tres categorías: gasolina Magna; gasolina Premium; y diesel y gas. Ya que no hay datos desagregados del gasto en “diesel y gas”, se supuso que el total reportado en esta categoría corresponde a diesel. Dicho supuesto se consideró factible dado que en 2012 solo el 0.03%

¹⁰⁹ Piedras Negras, Saltillo, Monterrey (Gas Natural México), Nuevo Laredo, Ciudad Juárez, Mexicali, Chihuahua, Hermosillo, Toluca, Río Pánuco, Norte de Tamaulipas, Monterrey (Compañía Mexicana de Gas), Distrito Federal, Valle Cuautitlán-Texcoco (Distribuidora de Gas Natural México), Querétaro, El Bajío, La Laguna-Durango, Puebla-Tlaxcala, Guadalajara y Valle Cuautitlán (Mexigas).

¹¹⁰ Media=11.26; desviación estándar=0.54; coeficiente de variación=5%.

¹¹¹ Media=150.83; desviación estándar=38.08; coeficiente de variación=25%.

¹¹² De acuerdo a la SENER (2017), existen cinco regiones de demanda de gas natural en el país y se integran de la siguiente manera: 1) Noroeste: Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa; 2) Noreste: Coahuila, Chihuahua, Durango, Nuevo León y Tamaulipas; 3) Centro Occidente: Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Querétaro, San Luis Potosí y Zacatecas; 4) Centro: Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala; 5) Sur-Sureste: Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán.

del consumo energético del autotransporte¹¹³ fue de gas (SIE, 2018) y, de hecho, el INEGyCEI solo estimó emisiones de CO₂ del autotransporte derivadas de gasolina y diesel. Entonces, para esta investigación las emisiones de CO₂ directas relacionadas con el consumo de combustibles para el transporte se asociaron al consumo de tres combustibles: gasolina Magna, gasolina Premium y diesel, cuyos precios en 2012 fueron precios únicos a nivel nacional.

Además del gasto en transporte por la compra de los combustibles ya señalados, los hogares ejercen gasto en transporte público de diversos tipos (terrestre, aéreo, marítimo) para satisfacer sus necesidades de movilidad. Dado que este gasto no es la compra directa de energía, sino la compra de un servicio, las emisiones de CO₂ directas aquí estimadas no incluyen a las emisiones de CO₂ derivadas del transporte público, y alternativamente éstas son incluidas más adelante en las emisiones de CO₂ indirectas.

3.2.2.2 Las emisiones de CO₂ indirectas

En línea con la contabilidad de emisiones de CO₂ basada en consumo discutida en el Capítulo 1, las emisiones de CO₂ indirectas de los hogares estimadas en esta sección incluyen a las emisiones de CO₂ que están incorporadas en los bienes y servicios finales adquiridos por los hogares. Las adaptaciones en la información disponible para seguir la metodología se explican a continuación.

El vector de intensidades de CO₂ directas

Para obtener el vector de intensidades de CO₂ directas de la producción económica por subsector (D^C), se relacionó la información del año 2012 de la MIP con la del INEGyCEI. Ya que la clasificación del SCIAN (utilizada en la MIP) difiere significativamente de la del IPCC (utilizada en el INEGyCEI), no fue posible asociar los subsectores uno a uno y los 79 subsectores de la MIP se fijaron como llave. De la MIP se tomaron los datos de la producción económica a precios básicos de cada uno de los subsectores, que en suma ascendieron a 26,309.7 MMM\$. Del INEGyCEI se consideraron 401.44 MtCO₂, obtenidas

¹¹³ Incluye todo tipo de transporte terrestre (público o privado), excepto ferrocarril.

de la diferencia entre las emisiones de CO₂ de la quema de combustibles fósiles (421.23 MtCO₂) y las emisiones de CO₂ del subsector residencial (19.8 MtCO₂). Las emisiones de CO₂ del subsector residencial se restaron porque son emisiones generadas por el uso de combustibles en la vivienda, por lo tanto, no se generan en la actividad económica como tal y tampoco se encuentran incorporadas en bienes o servicios¹¹⁴; además de que, como se apuntó en el apartado anterior, estas emisiones se contabilizan como directas.

El Cuadro 3-3, mediante las columnas MIP e INEGyCEI, muestra qué subsectores del IPCC (generadores de emisiones de CO₂ por quema de combustibles fósiles) se asociaron a cada subsector económico del SCIAN. Mientras algunos subsectores económicos no fueron asociados con subsectores de emisión, otros se asociaron con uno o más de uno, y algunos otros como conjunto se asociaron con un solo subsector de emisión (suponiendo que la intensidad de carbono de la producción económica fue homogénea entre dicho conjunto).

El vector de gasto por subsector por hogar

Para obtener el vector de gasto por subsector SCIAN por tipo de hogar (y_k), a cada subsector económico se le asignaron gastos y erogaciones específicos reportados en la ENIGH. El Cuadro 3-3, mediante las columnas MIP y ENIGH, muestra qué gastos o erogaciones de la ENIGH se asociaron a cada subsector económico del SCIAN. En este punto conviene hacer dos aclaraciones:

1. Los gastos utilizados en la estimación de las emisiones de CO₂ directas se utilizaron también en la estimación de las emisiones de CO₂ indirectas, pero tales procedimientos no implican contabilidad doble ya que:
 - a. El gasto en electricidad se incluyó en el vector de gasto para la estimación de emisiones de CO₂ indirectas, pero la intensidad de carbono del subsector 221 (generación, transmisión y distribución de energía eléctrica) en el vector

¹¹⁴ Idealmente, así como se restaron las emisiones de CO₂ del sector residencial, deberían restarse las emisiones de CO₂ directas de combustibles para el transporte consumidos por los hogares. Sin embargo, tal categoría no se reporta de manera independiente en el INEGyCEI, sino que todas las emisiones de CO₂ del autotransporte (público y privado) se agrupan en un subsector, por lo que no fue posible efectuar dicha resta.

I^c se consideró como la diferencia entre la intensidad indirecta y la intensidad directa. De tal modo, en las emisiones indirectas no se contabilizaron las emisiones de CO₂ derivadas de la quema de los combustibles fósiles utilizados como insumos en el proceso de producción eléctrica (pues ya se estimaron como emisiones directas).

- b. El gasto en combustibles para la vivienda y combustibles para el transporte se incluyó en el vector de gasto para la estimación de emisiones de CO₂ indirectas asociadas a los subsectores 222 (suministro de agua y suministro de gas por ductos) y 324 (fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón). Así, solo se consideraron las emisiones de CO₂ generadas durante los procesos de producción y distribución de los combustibles y no las generadas durante su combustión final (que ya se estimaron como emisiones directas).
2. Los gastos y erogaciones incluidos en el vector de gasto para la estimación de emisiones de CO₂ indirectas son todos los que refleja la ENIGH, excepto los “Gastos y erogaciones no clasificados” indicados en la última fila del Cuadro 3-3.

Los conceptos excluidos y las razones de su exclusión son:

- a. G102-G106: estimación del alquiler de la vivienda. El concepto en sí mismo no es generador de emisiones de CO₂.
- b. N011-N013, Q008, Q012 y Q014 son transferencias (N) y erogaciones (Q) en las que no es posible determinar el subsector económico en el que se ejercen (para mayor detalle sobre los conceptos y claves, ver el Anexo B).
- c. R004 y R012: impuesto predial y tenencia vehicular, respectivamente. Son impuestos y no actividades económicas generadoras de emisiones de CO₂.
- d. T908 y T915 son gastos en regalos a personas ajenas del hogar (último recibo pagado y gastos diversos, respectivamente) en los que no es posible determinar el subsector económico en el que se ejercen.

Cuadro 3-3. Relación entre la MIP, el INEGyCEI y la ENIGH

Parte 1 de 4

MIP		INEGyCEI	ENIGH
Clave	Subsector (clasificación SCIAN)	Categoría ¹ (clasificación IPCC)	Clave de gasto o erogación ²
111	Agricultura.	1A4c Agropecuario/silvicultura/pesca/piscifactorías	A001, A101-A104, A107-A132, A137-A141, A144, A147-A170, A203-A204
112	Cría y explotación de animales.	-	A093-A094
113	Aprovechamiento forestal.	1A4c Agropecuario/silvicultura/pesca/piscifactorías	G013
114	Pesca, caza y captura.	1A4c Agropecuario/silvicultura/pesca/piscifactorías	A066-A067, A071-A073
115	Servicios relacionados con las actividades agropecuarias y forestales.	1A4c Agropecuario/silvicultura/pesca/piscifactorías	-
211	Extracción de petróleo y gas.	-	-
212	Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas.	1A2i Minería (con excepción de combustibles) y cantería	-
213	Servicios relacionados con la minería.	-	-
221	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.	1A1a Actividad principal producción de electricidad y calor	-R001
222	Suministro de agua y suministro de gas por ductos al consumidor final.	-	R002-R003
236	Edificación.	1A2k Construcción	K039, K041, K043, K045
237	Construcción de obras de ingeniería civil.	1A2k Construcción	-
238	Trabajos especializados para la construcción.	1A2k Construcción	-
311	Industria alimentaria.	1A2e Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	A002-A065, A068-A070, A074-A092, A095-A100, A105-A106, A133-A136, A142-A143, A145-A146, A171-A202, A205- A214, A242, T901
312	Industria de las bebidas y del tabaco.	1A2e Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	A215-A241
313	Fabricación de insumos textiles y acabado de textiles.	1A2l Textiles y cueros	I024
314	Fabricación de productos textiles, excepto prendas de vestir.	1A2l Textiles y cueros	C010, I016-I022, I026, K035
315	Fabricación de prendas de vestir.	1A2l Textiles y cueros	H001-H083, H125, H130, H134-H135, T909
316	Curtido y acabado de cuero y piel, y fabricación de productos de cuero, piel y materiales sucedáneos.	1A2l Textiles y cueros	H084-H119, H123-H124, H128
321	Industria de la madera.	1A2j Madera y productos de la madera	-
322	Industria del papel.	1A2d Pulpa, papel e imprenta	C006, D014-D016

Cuadro 3 3. Relación entre la MIP,el INEGyCEI y la ENIGH

Parte 2 de 4

MIP		INEGyCEI	ENIGH
Clave	Subsector (clasificación SCIAN)	Categoría ¹ (clasificación IPCC)	Clave de gasto o erogación ²
323	Impresión e industrias conexas.	1A2d Pulpa, papel e imprenta	E014
324	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón.	1A1b Refinación del petróleo 1A1c Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía	F007-F010, G009-G012, G014
325	Industria química.	1A2c Sustancias químicas	C001-C005, C011, C014-C016, C019, D001-D013, D017, H121, J004, J009-J010, J014, J020-J035, J037-J038, J042, J044-J059, J061, J063-J064, T903-T904
326	Industria del plástico y del hule.	1A2m Industria no especificada	C007, C018, I003, I007, M012, M016
327	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos.	1A2m Industria no especificada	I001-I002, I004, I006, K033, K038, K040, K042, K044, T910
331	Industrias metálicas básicas.	1A2a Hierro y acero 1A2b Metales no ferrosos	-
332	Fabricación de productos metálicos.	1A2m Industria no especificada	C017, I005, I009-I012
333	Fabricación de maquinaria y equipo.	1A2h Maquinaria	K005, Q013
334	Fabricación de equipo de computación, comunicación, medición y de otros equipos, componentes y accesorios electrónicos.	1A2m Industria no especificada	F002, H129, I008, J066, K002-K003, L001-L015, L017-L021
335	Fabricación de accesorios, aparatos eléctricos y equipo de generación de energía eléctrica.	1A2m Industria no especificada	C012-C013, D019, K001, K004, K007-K024, M013, T912
336	Fabricación de equipo de transporte.	1A2g Equipo de transporte	M007-M011, M014-M015
337	Fabricación de muebles, colchones y persianas.	1A2m Industria no especificada	I014-I015, K006, K026-K032, K034, K036
339	Otras industrias manufactureras.	1A2m Industria no especificada	C008-C009, D018, D021, E017, E020, G015-G016, H122, H126-H127, H131-H132, I025, J060, J065, J067, L023-L027
431	Comercio.	1A4a Comercial/institucional	-
481	Transporte aéreo.	1A3a Aviación civil	M003
482	Transporte por ferrocarril.	1A3c Ferrocarriles	M002
483	Transporte por agua.	1A3d Navegación marítima y fluvial	B007, M006
484	Autotransporte de carga.	1A3b Autotransporte	M004
485	Transporte terrestre de pasajeros, excepto por ferrocarril.	1A3b Autotransporte	B001-B006, E013, M001, T902, T914

Cuadro 3 3. Relación entre la MIP, el INEGyCEI y la ENIGH

Parte 3 de 4

MIP		INEGyCEI	ENIGH
Clave	Subsector (clasificación SCIAN)	Categoría ¹ (clasificación IPCC)	Clave de gasto o erogación ²
486	Transporte por ductos.	-	-
487	Transporte turístico.	1A3b Autotransporte	-
488	Servicios relacionados con el transporte.	-	M005
491	Servicios postales.	-	-
492	Servicios de mensajería y paquetería.	-	F005
493	Servicios de almacenamiento.	-	-
511	Edición de periódicos, revistas, libros, software y otros materiales, y edición de estas publicaciones integrada con la impresión.	-	E022-E026
512	Industria fílmica y video, e industria del sonido.	-	E027
515	Radio y televisión.	-	-
517	Otras telecomunicaciones.	-	F001, F003-F004, R005-R011, T906
518	Procesamiento electrónico de información, hospedaje y otros servicios relacionados.	-	-
519	Otros servicios de información.	-	-
521	Banca central.	-	-
522	Instituciones de intermediación crediticia y financiera no bursátil.	-	Q001-Q005, Q011
523	Actividades bursátiles, cambiarias y de inversión financiera.	-	Q006, Q015, T916
524	Compañías de fianzas, seguros y pensiones.	-	J071-J072, N008-N009, Q007
531	Servicios inmobiliarios.	-	G001-G004, G101, Q009-Q010, Q100
532	Servicios de alquiler de bienes muebles.	-	
533	Servicios de alquiler de marcas registradas, patentes y franquicias.	-	
541	Servicios profesionales, científicos y técnicos.	-	N001, Q016
551	Corporativos.	-	
561	Servicios de apoyo a los negocios.	-	C023-C024, F006, G005-G008, R013, T907
562	Manejo de desechos y servicios de remediación.	-	
611	Servicios educativos.	-	E001-E007, E009-E011, E015-E016, E018-E019
621	Servicios médicos de consulta externa y relacionados.	-	J003, J005-J008, J011, J013, J015-J019, J036, J041, J043, J062, J069, T905, T911

Cuadro 3 3. Relación entre la MIP, el INEGyCEI y la ENIGH

Parte 4 de 4

MIP		INEGyCEI	ENIGH
Clave	Subsector (clasificación SCIAN)	Categoría ¹ (clasificación IPCC)	Clave de gasto o erogación ²
622	Hospitales.	-	J001-J002, J012, J039-J040, J070
623	Residencias de asistencia social y para el cuidado de la salud.	-	
624	Otros servicios de asistencia social.	-	E008, E012
711	Servicios artísticos, culturales y deportivos, y otros servicios relacionados.	-	E028, E030
712	Museos, sitios históricos, zoológicos y similares.	-	
713	Servicios de entretenimiento en instalaciones recreativas y otros servicios recreativos.	-	E031-E034, T913
721	Servicios de alojamiento temporal.	-	N004-N005
722	Servicios de preparación de alimentos y bebidas.	-	A243-A247, E029, N003
811	Servicios de reparación y mantenimiento.	-	D020, E021, F011, F013-F014, H120, H133, H136, I013, I023, J068, K025, K037, L016, L022, L028, M017-M018
812	Servicios personales.	-	C021-C022, D022-D026, F012, L029, N002, N010
813	Asociaciones y organizaciones.	-	N006-N007, N014
814	Hogares con empleados domésticos.	-	C020
931	Actividades legislativas, gubernamentales y de impartición de justicia.	-	N015-N016
932	Organismos internacionales y extraterritoriales.	-	
-	Gastos y erogaciones no clasificados	-	G102-G106, N011-N013, Q008, Q012, Q014, R001, R004, R012, T908, T915

¹ El prefijo de las categorías sigue la clasificación: 1 Energía. 1A Actividades de quema del combustible. 1A1 Industrias de la energía. 1A2 Industrias manufacturera y de la construcción. 1A3 Transporte. 1A4 Otros sectores.

² Ver Anexo B para consulta de claves de gastos o erogaciones de acuerdo a la ENIGH 2012.

Elaboración propia.

Los vectores de las intensidades de CO₂ directas e indirectas (vectores D^C e I^C , respectivamente) de todos los subsectores económicos y el vector del gasto total de los hogares en cada subsector (vector y) se reportan en el Cuadro 3-4.

Cuadro 3-4. Intensidades de CO₂ directas e indirectas y gasto de los hogares por subsector en México, 2012

Subsector (clave SCIAN)	Intensidad de CO ₂ (tCO ₂ /MM\$)		Gasto anual de hogares (MM\$) (y^k)	Subsector (clave SCIAN)	Intensidad de CO ₂ (tCO ₂ /MM\$)		Gasto anual de hogares (MM\$) (y^k)
	Directa (D^C)	Indirecta (I^C)			Directa (D^C)	Indirecta (I^C)	
111	18.12	30.21	151,777.92	486	0.00	37.79	0.00
112	0.00	14.43	36,926.50	487	126.01	144.36	0.00
113	18.12	24.87	2,332.98	488	0.00	10.55	2,476.20
114	18.12	41.34	15,704.45	491	0.00	9.13	0.00
115	18.12	32.72	0.00	492	0.00	21.61	201.51
211	0.00	3.36	0.00	493	0.00	22.17	0.00
212	37.05	53.83	0.00	511	0.00	8.31	11,995.87
213	0.00	14.54	0.00	512	0.00	19.15	19,601.69
221	322.42	350.07	71,298.12	515	0.00	12.54	0.00
222	0.00	10.50	40,748.28	517	0.00	11.46	174,657.27
236	0.00	14.63	20,327.48	518	0.00	8.03	0.00
237	0.00	16.87	0.00	519	0.00	8.18	0.00
238	0.00	13.68	0.00	521	0.00	3.89	0.00
311	1.25	19.66	653,565.41	522	0.00	7.13	420,277.48
312	1.25	20.74	98,770.14	523	0.00	8.07	4,304.16
313	0.00	32.94	155.42	524	0.00	5.49	26,049.79
314	0.00	21.61	7,423.87	531	0.00	4.57	159,429.58
315	0.00	17.98	138,797.88	532	0.00	13.34	0.00
316	0.00	17.64	71,610.19	533	0.00	3.12	0.00
321	0.00	24.94	0.00	541	0.00	6.38	6,219.33
322	9.86	44.92	53,605.43	551	0.00	2.66	0.00
323	9.86	34.68	25,762.63	561	0.00	5.00	18,351.98
324	39.77	65.10	220,197.18	562	0.00	10.79	0.00
325	13.18	32.94	241,117.23	611	0.00	7.26	274,151.00
326	10.29	39.48	9,669.66	621	0.00	11.23	55,563.34
327	10.29	38.37	26,321.66	622	0.00	15.94	42,379.14
331	9.32	46.76	0.00	623	0.00	18.29	0.00
332	10.29	41.58	2,359.82	624	0.00	31.02	3,877.93
333	0.00	26.32	5,387.99	711	0.00	3.49	7,925.68
334	10.29	46.86	35,353.65	712	0.00	13.54	0.00
335	10.29	42.22	27,007.32	713	0.00	17.62	13,518.47
336	1.94	28.17	75,071.30	721	0.00	21.03	27,129.19
337	10.29	30.55	14,662.40	722	0.00	16.61	463,727.80
339	10.29	36.99	24,971.40	811	0.00	16.41	22,990.06
431	1.66	10.88	0.00	812	0.00	13.06	45,361.46
481	60.05	93.79	14,294.46	813	0.00	13.78	9,053.81
482	40.61	57.82	28.10	814	0.00	0.00	44,551.34
483	143.26	153.33	4,628.01	931	0.00	13.84	7,204.13
484	126.01	142.67	308.24	932	0.00	51.50	0.00
485	126.01	151.06	172,882.69				

Elaboración propia.

Las intensidades de CO₂ indirectas fueron mayores que las intensidades de CO₂ directas, no obstante, el *ranking* de subsectores con mayores intensidades de CO₂ fue parecido en una y otra intensidad. Los cinco subsectores que registraron las mayores intensidades directas e indirectas fueron: 221-generación, transmisión y distribución de energía eléctrica¹¹⁵, 483-transporte por agua, 485-transporte terrestre de pasajeros, 487-transporte turístico y 484-autotransporte de carga.

Por otro lado, los tres subsectores que reportaron los montos de gasto de los hogares más altos (mayores a 400 MMMS\$/año) fueron: 311-industria alimentaria, 722-servicios de preparación de alimentos y bebidas, y 522-instituciones de intermediación crediticia y financiera no bursátil.

Entre los diez sub-sectores con las mayores intensidades de CO₂, los sub-sectores 324-fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón y 485-transporte terrestre de pasajeros, excepto por ferrocarril, presentaron igualmente un alto gasto de los hogares (*ranking* del gasto 6 y 8, respectivamente).

3.2.3 Resultados y discusión

En esta sección se muestran los resultados más relevantes de la estimación de las emisiones de CO₂ directas, indirectas y totales. En el Anexo C se pueden consultar las estimaciones específicas de las emisiones de CO₂ directas (por energético) e indirectas (por subsector económico) por deciles de hogares.

3.2.3.1 Emisiones de CO₂ directas

Las emisiones de CO₂ directas derivadas del consumo energético de los hogares en México en 2012 ascendieron a 77.4 MtCO₂¹¹⁶. Los estratos de ingresos altos generaron

¹¹⁵ Las intensidades de CO₂ directas e indirectas del subsector 221 solo se reportan en el Cuadro 3-4 con fines informativos. Como se señaló previamente, en el vector *I^C* la intensidad de carbono de este subsector se consideró como la diferencia entre sus intensidades indirecta y directa.

¹¹⁶ Del total de estas emisiones, 17.1 MtCO₂ derivaron de la combustión de gas L.P., gas natural y queroseno (ver Cuadro C-1 del Anexo C), estimación cercana a las 19.8 MtCO₂ que reporta el INEGEYCEI de 2012 como emisiones del sector residencial (INECC-SEMARNAT, 2018), es decir, las derivadas de los tres combustibles mencionados.

significativamente mayores cantidades de CO₂ que los estratos de ingresos bajos, tanto en términos absolutos, como por hogar y per cápita (ver Cuadro 3-5). Los hogares ubicados entre los deciles I y V generaron aproximadamente el 23% de las emisiones de CO₂ directas, porcentaje inferior al de las emisiones de CO₂ directas atribuidas al decil X (28.5%).

Cuadro 3-5. Gasto y consumo energético y emisiones de CO₂ directas de los hogares por nivel de ingreso en México, 2012

Deciles de hogares	Gasto total en energía (MM\$)	Consumo energético (PJ)	Emisiones de CO ₂ directas (Mt)	Participación en las emisiones de CO ₂ directas (%)	Emisiones de CO ₂ directas por hogar (t)	Emisiones de CO ₂ directas per cápita (t)	Intensidad de CO ₂ directo del gasto en energía (t/MM\$)
I	5,448	19.9	1.8	2.3	0.56	0.19	326.9
II	9,245	33.3	2.9	3.8	0.92	0.28	314.4
III	11,944	43.3	3.7	4.7	1.16	0.33	306.0
IV	14,628	52.8	4.4	5.7	1.39	0.38	299.0
V	17,428	60.7	5.0	6.4	1.58	0.41	286.1
VI	22,275	78.8	6.5	8.4	2.07	0.53	293.4
VII	27,801	95.7	7.6	9.8	2.41	0.62	273.9
VIII	37,731	126.0	9.9	12.8	3.15	0.76	263.3
IX	52,376	173.9	13.6	17.5	4.30	1.04	259.0
X	95,873	294.0	22.1	28.5	6.98	1.77	230.0
Suma / Promedio*	294,748	978.3	77.4	100.0	2.45*	0.66*	262.6*

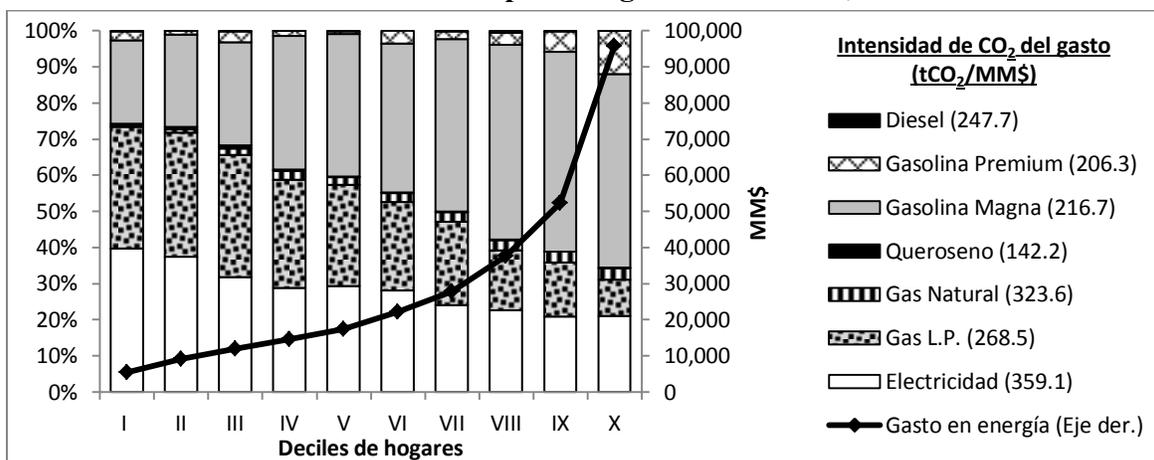
Elaboración propia.

La intensidad de las emisiones de CO₂ directas del gasto total en energía¹¹⁷ fue mayor en los deciles con menores ingresos: 327 toneladas de bióxido de carbono por cada millón de pesos (tCO₂/MM\$) en el decil I vs 230 tCO₂/MM\$ en el decil X (ver Cuadro 3-5), lo cual es consecuencia directa de la estructura del gasto en energía y la intensidad de carbono de cada energético. El Gráfico 3-1 muestra el gasto total en energía por decil (línea), la estructura del gasto en energía por tipo de energético por decil (barras) y la intensidad de carbono del gasto para cada energético (paréntesis). Con estos datos, es posible cotejar que la energía eléctrica fue el energético que mostró mayor intensidad de carbono del gasto — un reflejo de las tarifas subsidiadas que pagan los hogares en México— y su peso en el

¹¹⁷ La intensidad de CO₂ del gasto es la cantidad de carbono emitido por cada peso de gasto ejercido. Dependiendo del tipo de relación que se establezca, puede ser intensidad directa (CO₂ derivado del consumo de energía/gasto en energía); intensidad indirecta (CO₂ incorporado en bienes y servicios/gasto en bienes y servicios); o intensidad total (CO₂ directo e indirecto/gasto total).

gasto total en energía fue cayendo a medida que el nivel de ingreso de los hogares era más alto. En contraste, las gasolinas registraron intensidades de carbono relativamente bajas en comparación con otros energéticos y la proporción del gasto en gasolinas fue creciendo a medida que los niveles de ingreso de los hogares eran más altos.

Gráfico 3-1. Gasto total en energía de los hogares por nivel de ingresos, estructura e intensidad de CO₂ por energético en México, 2012

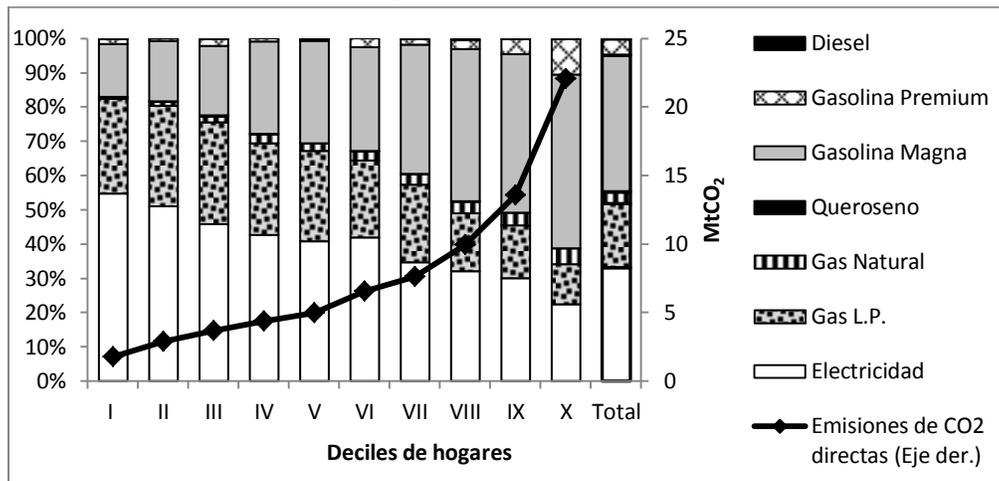


Elaboración propia.

El resultado conjunto de estas interacciones sobre los niveles de emisiones de CO₂ directas se muestra en el Gráfico 3-2, que ilustra el nivel de emisiones de CO₂ directas por decil (línea) y la estructura de dichas emisiones por energético (barras). Existe una clara relación directa entre los niveles de ingresos de los hogares y los niveles de emisiones de CO₂ directas. En la estructura de estas emisiones, a medida que crecen los ingresos se registra una caída en la participación de las emisiones derivadas de la energía eléctrica y un ascenso de las derivadas de las gasolinas, lo cual por las intensidades de CO₂ de cada energético es un efecto aún más marcado que en el caso de la estructura del gasto. En suma, los mayores niveles de emisiones de CO₂ directas se deben principalmente a la alta cantidad de energía consumida y en menor medida a la intensidad de carbono de la energía.

De forma agregada (barra “Total” del Gráfico 3-2), la estructura de las emisiones de CO₂ directas por tipo de energético fue: gasolina Magna 40%, electricidad 33%, gas L.P. 19%, gasolina Premium 5%, gas natural 3% y en proporciones mínimas diesel y queroseno.

Gráfico 3-2. Emisiones de CO₂ directas por nivel de ingresos y estructura por energética en México, 2012



Elaboración propia.

3.2.3.2 Emisiones de CO₂ indirectas

Las emisiones de CO₂ indirectas incorporadas en los bienes y servicios adquiridos por los hogares mexicanos en 2012 ascendieron a 108.7 MtCO₂. Igual que las emisiones de CO₂ directas de los hogares, las indirectas mostraron fuertes contrastes entre niveles de ingresos en términos absolutos, por hogar y per cápita; en todos los casos, las emisiones de CO₂ indirectas fueron mayores en los grupos con ingresos más altos. Por su parte, la intensidad de carbono indirecto del gasto presentó una tendencia distinta a la del carbono directo en los primeros deciles de ingresos, ya que, en la primera mitad de la distribución, dicha intensidad presentó ligeros incrementos, para posteriormente ir a la baja a medida que los hogares tenían mayores ingresos (ver Cuadro 3-6).

Respecto a la estructura de las emisiones de CO₂ indirectas derivadas del gasto de los hogares, el Gráfico 3-3 muestra a los subsectores económicos que mayor peso tuvieron en la generación de estas emisiones¹¹⁸. En los deciles de más bajos ingresos, el gasto en servicios de transporte terrestre (subsector 485) fue el principal generador de emisiones, seguido del gasto en alimentos (subsectores 311-industria alimentaria, 111-agricultura y 722-servicios de preparación de alimentos y bebidas). En el decil X hubo una composición

¹¹⁸ Para una revisión más minuciosa de la estructura de las emisiones de CO₂ indirectas por subsector, consultar el Cuadro C-2 del Anexo C.

de emisiones sectorial más equilibrada, que contrastó con la estructura del resto de los grupos de ingreso. Un cambio significativo fue la reducción de la participación del subsector 485 (transporte terrestre de pasajeros) en los deciles con mayores ingresos, un hecho que se liga con un mayor peso de los subsectores 324 (productos derivados del petróleo y del carbón) y 336 (fabricación de equipo de transporte)¹¹⁹, además, de la elevada participación del consumo de gasolinas en las emisiones de CO₂ directas (analizadas en el apartado anterior y mostradas en el Gráfico 3-2).

En términos agregados (barra “Total” del Gráfico 3-3), las emisiones de CO₂ indirectas derivaron principalmente de los subsectores: 485-transporte terrestre de pasajeros (24%), 324-fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón (13%) y 311-industria alimentaria (12%).

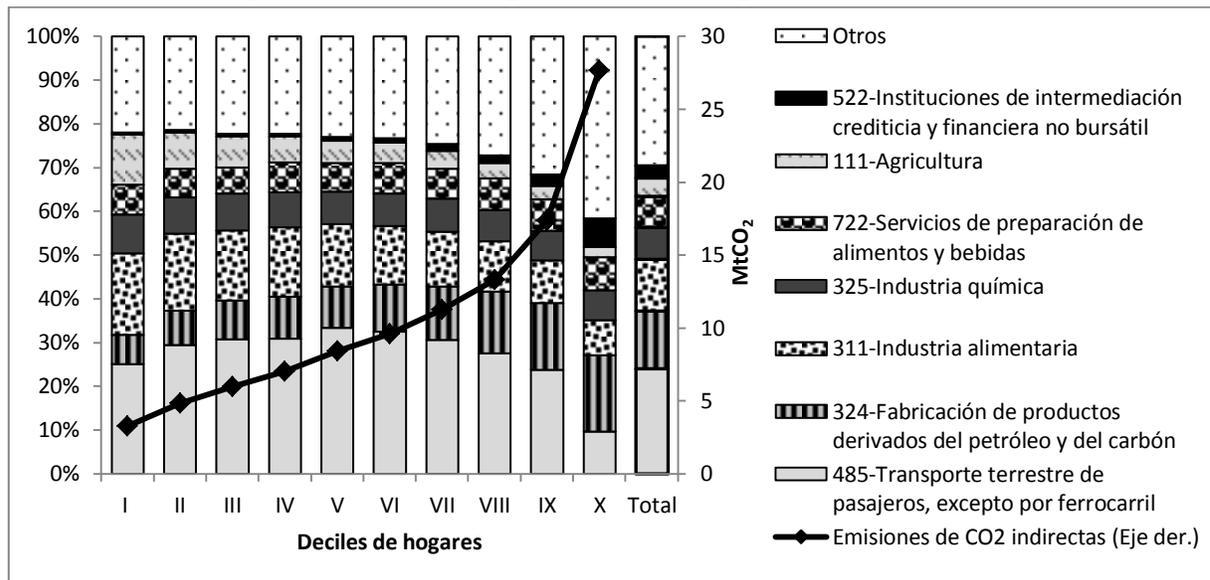
Cuadro 3-6. Gasto total y emisiones de CO₂ indirectas de los hogares por nivel de ingresos en México, 2012

Deciles de hogares	Gasto total (MM\$)	Emisiones de CO ₂ indirectas (Mt)	Participación en las emisiones de CO ₂ indirectas (%)	Emisiones de CO ₂ indirectas por hogar (t)	Emisiones de CO ₂ indirectas per cápita (t)	Intensidad de emisiones de CO ₂ indirectas (t/MM\$)
I	136,521	3.3	3.0	1.03	0.36	23.8
II	190,064	4.9	4.5	1.54	0.47	25.5
III	229,422	6.0	5.5	1.89	0.54	26.0
IV	275,358	7.0	6.5	2.22	0.61	25.5
V	317,979	8.4	7.7	2.67	0.70	26.5
VI	376,955	9.6	8.8	3.04	0.78	25.4
VII	448,736	11.3	10.4	3.57	0.92	25.1
VIII	551,047	13.3	12.3	4.23	1.02	24.2
IX	770,450	17.4	16.0	5.51	1.33	22.6
X	1,552,660	27.7	25.4	8.76	2.22	17.8
Suma / Promedio*	4,849,193	108.7	100.0	3.45*	0.93*	22.4*

Elaboración propia.

¹¹⁹ En el Gráfico 3-3, el subsector 336 está incluido en “Otros”.

Gráfico 3-3. Estructura de las emisiones de CO₂ indirectas de los hogares por nivel de ingreso en México, según subsector de producción, 2012



Elaboración propia.

3.2.3.3 Emisiones de CO₂ totales

Dados los resultados de las emisiones de CO₂ directas e indirectas, evidentemente las emisiones de CO₂ totales presentaron fuertes contrastes entre grupos de ingresos altos y bajos, tanto en términos absolutos como por hogar y per cápita. El índice de Gini de las emisiones de CO₂ totales en 2012 fue de 0.36, con una distribución más inequitativa en las emisiones directas (0.39) que en las indirectas (0.33).

El Cuadro 3-7 resume algunos de los resultados más importantes. Las emisiones de CO₂ totales derivadas del gasto de los hogares ascendieron a 186.1 MtCO₂ en México en el año 2012. El decil I generó aproximadamente el 2.7% de dichas emisiones, mientras que el decil X generó aproximadamente el 26.7%. En el decil X, las emisiones de CO₂ promedio por hogar fueron de 15.7 tCO₂ anuales, 1.6 veces más que el promedio en el decil IX y 9.9 veces más que el promedio en el decil I. A nivel individual, las emisiones per cápita del 10% de los hogares con mayores ingresos (4.0 tCO₂) fueron 1.7 y 7.2 veces más altas que las emisiones de los individuos de los deciles IX y I, respectivamente.

Cuadro 3-7. Emisiones de CO₂ totales de los hogares por nivel de ingresos en México, 2012

Deciles de hogares	Gasto total (MM\$)	Emisiones de CO ₂ totales (Mt)	Proporción emisiones de CO ₂ directas	Proporción emisiones de CO ₂ indirectas	Participación en las emisiones de CO ₂ totales (%)	Emisiones de CO ₂ totales por hogar (t)	Emisiones de CO ₂ totales per cápita (t)	Intensidad de emisiones de CO ₂ totales (t/MM\$)	Elasticidad de emisiones de CO ₂ totales
I	136,521	5.0	35.4	64.6	2.7	1.6	0.6	36.88	
II	190,064	7.8	37.4	62.6	4.2	2.5	0.7	40.83	1.30
III	229,422	9.6	38.0	62.0	5.2	3.0	0.9	41.90	1.14
IV	275,358	11.4	38.4	61.6	6.1	3.6	1.0	41.36	0.93
V	317,979	13.4	37.2	62.8	7.2	4.2	1.1	42.16	1.13
VI	376,955	16.1	40.5	59.5	8.7	5.1	1.3	42.77	1.08
VII	448,736	18.9	40.3	59.7	10.1	6.0	1.5	42.06	0.90
VIII	551,047	23.3	42.7	57.3	12.5	7.4	1.8	42.21	1.02
IX	770,450	30.9	43.8	56.2	16.6	9.8	2.4	40.17	0.85
X	1,552,660	49.7	44.4	55.6	26.7	15.7	4.0	32.03	0.69
Suma / Promedio*	4,849,193	186.1	41.6	58.4	100.0	5.9	1.6	38.38	1.01

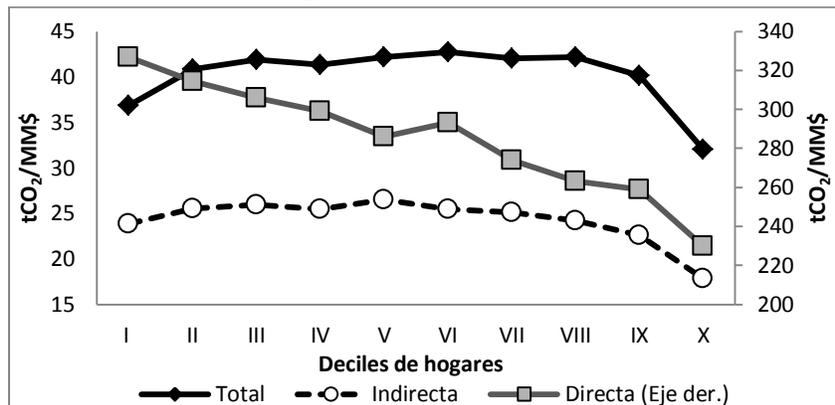
Elaboración propia.

La intensidad de las emisiones de CO₂ totales mostró una tendencia creciente entre el decil I y el decil III, pequeñas oscilaciones entre los deciles III y VIII, y después un descenso entre los deciles VIII y X (ver Cuadro 3-7). Esta trayectoria fue más parecida a la de la intensidad de CO₂ indirecta que a la de la intensidad de CO₂ directa. Las intensidades total e indirecta mostraron sutiles tendencias en forma de U invertida, mientras que la intensidad directa una tendencia a la baja (ver Gráfico 3-4). En los tres casos, los cambios más drásticos en la intensidad de carbono se dieron entre los deciles IX y X y todos fueron a la baja. Derivado de las distintas intensidades de carbono, la elasticidad gasto-emisiones de CO₂ a lo largo de la curva de ingresos fue también variada¹²⁰, aunque muy cercana a 1 en prácticamente toda la distribución, excepto al pasar de decil IX al X, donde se registró una elasticidad de 0.69 (ver Cuadro 3-7). El resultado paradójico en estas tendencias es que el decil X, que presentó las menores intensidades de carbono (directo, indirecto y total) y la menor elasticidad gasto-emisiones de CO₂, generó más emisiones de CO₂ (directas, indirectas y totales) que cualquier otro decil.

¹²⁰ Las elasticidades se calcularon a lo largo de la curva de ingresos (al pasar de un decil al siguiente inmediato superior) mediante la fórmula de elasticidad por método del punto medio:

$$\text{Elasticidad gasto de las emisiones de CO}_2 = \frac{CO2_2 - CO2_1 / [(CO2_2 + CO2_1)/2]}{G_2 - G_1 / [(G_2 + G_1)/2]}$$

Gráfico 3-4. Intensidades de emisiones de CO₂ totales, directas e indirectas por nivel de ingresos en México, 2012.



Elaboración propia.

Con respecto a la composición de las emisiones de CO₂ totales, 58% fueron emisiones indirectas y 42% emisiones directas. En todos los deciles de ingreso predominaron las emisiones indirectas, aunque con mayor amplitud en los deciles de ingresos más bajos (ver Cuadro 3-7). Ahora bien, al considerar la necesidad específica que satisfacen los bienes o servicios generadores de emisiones de CO₂ (directas o indirectas), la estructura agregada de las emisiones (barra “Total” del Gráfico 3-5) revela que los principales impulsores de carbono del lado de la demanda en 2012 fueron: movilidad¹²¹ (40.5%), energía para la vivienda¹²² (26.1%) y alimentación¹²³ (15.2%).

Para analizar los contrastes de estas emisiones entre niveles de ingresos, las líneas del Gráfico 3-5 muestran los niveles absolutos de emisiones de CO₂ totales por tipo de necesidad en cada decil de ingresos, mientras que las barras permiten observar con mayor

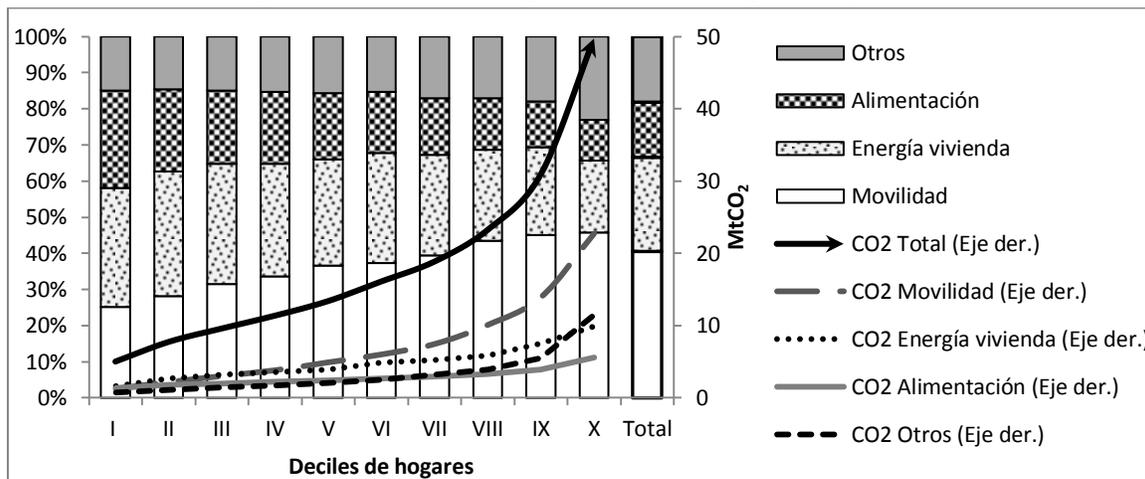
¹²¹ Incluye emisiones de CO₂ directas por consumo de gasolina Magna, gasolina Premium y diesel; así como emisiones de CO₂ indirectas de los subsectores 324-fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón (solo la parte correspondiente a los tres combustibles para transporte), 336-fabricación de equipo de transporte, 481-transporte aéreo, 482-transporte por ferrocarril, 483-transporte por agua, 484-autotransporte de carga y 485-transporte terrestre de pasajeros.

¹²² Incluye las emisiones de CO₂ directas por consumo de energía eléctrica, gas L.P., gas natural y queroseno; así como emisiones de CO₂ indirectas de los subsectores 221-generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, 222-suministro de agua y suministro de gas por ductos al consumidor final (solo la parte correspondiente a gas natural) y 324-fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón (solo la parte correspondiente a gas L.P. y queroseno).

¹²³ Incluye emisiones de CO₂ indirectas de los subsectores 111-agricultura, 112-cría y explotación de animales, 114-pesca, caza y captura, 311-industria alimentaria, 312-industria de las bebidas y del tabaco y 722-servicios de preparación de alimentos y bebidas.

claridad su estructura. En general, las cinco líneas del Gráfico 3-5 exponen una relación directa entre el nivel de ingresos y las emisiones de CO₂ con una forma cóncava hacia arriba, es decir, las emisiones de CO₂ aumentaron a un ritmo creciente a medida que el ingreso de los hogares fue mayor. Con respecto a la estructura de las emisiones, a medida que los hogares se ubicaron en deciles más altos, la participación de las emisiones derivadas de la demanda de movilidad creció, mientras paulatinamente se redujeron las participaciones de energía para la vivienda y alimentación. Por su parte la participación de la categoría de “otros” se mantuvo relativamente estable, hasta llegar al decil X, donde experimentó un crecimiento notable.

Gráfico 3-5. Estructura de las emisiones de CO₂ totales de los hogares por nivel de ingresos en México según necesidad específica, 2012.



Elaboración propia.

Para profundizar en las causas de estas tendencias, el Cuadro 3-8 muestra qué satisfactores (bienes o servicios) solventaron las necesidades señaladas, así como la cantidad de emisiones de CO₂ asociada con cada satisfactor por decil de ingresos.

En torno a la demanda de movilidad, es evidente el peso mayoritario de las emisiones derivadas del transporte privado (gasolinas y compra de autos) en el agregado de los hogares. Esta situación deriva, por un lado, del elevado y ascendente gasto de los hogares en estos conceptos (en el caso del gasto en gasolina Magna, por ejemplo, al pasar de un decil al inmediato siguiente se observan tasas de crecimiento promedio de 52%); por otro lado, de la intensidad de carbono de los gastos en movilidad (para el transporte

privado, la intensidad directa de las gasolinas superó 200 kilogramos de bióxido de carbono por cada mil pesos ($\text{kgCO}_2/\text{M\$}$), la indirecta fue de $65 \text{ kgCO}_2/\text{M\$}$ y a esto hay que sumar la intensidad de la fabricación de equipo de transporte $28 \text{ kgCO}_2/\text{M\$}$; mientras que la intensidad de transporte terrestre de pasajeros fue de $151 \text{ kgCO}_2/\text{M\$}$). De la conjugación de estos factores, resultó que en 2012 cerca del 40% de las emisiones derivadas del transporte privado fueran generadas por el decil X, el cual ejerció aproximadamente el 77% de su gasto en movilidad en transporte privado. En términos de generación absoluta de carbono, las emisiones derivadas del transporte privado demandado por el decil X ascendieron a 18.7 MtCO_2 , es decir que poco más del 10% de las emisiones totales fueron generadas por el transporte privado de un decil de hogares.

En cuanto a la demanda de energía para la vivienda, las mayores participaciones en las emisiones de CO_2 totales fueron de energía eléctrica y gas L.P. Mientras que, en la demanda de alimentación, los alimentos producidos en las industria (311-alimentaria y 312-bebidas y tabaco) fueron los principales generadores de emisiones de CO_2 . Tanto las emisiones derivadas de la demanda de energía para la vivienda como las de la demanda de alimentación fueron crecientes a medida que el ingreso fue mayor, pero con distribuciones considerablemente más equilibradas que la de las emisiones de la demanda movilidad.

Por último, en la categoría “otros” se enlistaron los bienes y servicios que participaron al menos 1% en las emisiones de CO_2 indirectas de forma agregada y entre paréntesis se indica el subsector económico asociado a su producción. Como puede notarse, estos bienes y servicios son diversos y representaron un peso de importancia media en la generación de emisiones de CO_2 , ya por el elevado gasto asociado con ellos o por la relativamente alta intensidad de carbono de su producción. Todos los satisfactores apuntados en “otros”, al igual que ha ocurrido en el resto de las categorías, se asociaron con emisiones de CO_2 crecientes a medida que el ingreso de los hogares fue mayor. En el caso de servicios crediticios y financieros, así como en servicios educativos, la participación del decil X fue considerablemente alta (61 y 43%, respectivamente); mientras que la distribución de las emisiones del conjunto “servilletas, papel y toallas sanitarias, pañales” fue la más equitativa dentro de la categoría.

Cuadro 3-8. Emisiones de CO₂ totales por satisfactor y por decil de ingresos en México, 2012 (MtCO₂)

	Deciles de hogares	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Total
Movilidad	Gasolina Magna	0.36	0.67	0.96	1.52	1.93	2.58	3.74	5.73	8.14	14.49	40.12
	Gasolina Premium	0.04	0.03	0.10	0.06	0.04	0.22	0.15	0.34	0.80	3.06	4.83
	Compra de autos	0.00	0.01	0.02	0.02	0.04	0.05	0.04	0.17	0.59	1.17	2.11
	Transp. terr. pasaj. (excepto ferr.)	0.82	1.43	1.84	2.17	2.81	3.12	3.45	3.68	4.14	2.67	26.11
	Transporte aéreo	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.04	0.14	1.11	1.34
	Otros	0.06	0.05	0.10	0.05	0.08	0.04	0.05	0.14	0.11	0.25	0.94
Energía vivienda	Electricidad	1.04	1.58	1.78	1.98	2.17	2.91	2.83	3.42	4.37	5.50	27.58
	Gas L.P.	0.61	1.06	1.35	1.46	1.64	1.82	2.14	2.09	2.61	3.21	17.98
	Gas Natural	0.01	0.03	0.07	0.12	0.12	0.19	0.25	0.36	0.56	1.19	2.89
	Queroseno	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.09
Alimentación	Alim., beb. y tabaco de industria	0.69	0.96	1.08	1.28	1.38	1.48	1.63	1.77	1.97	2.65	14.90
	Alim. y bebidas fuera del hogar	0.22	0.32	0.36	0.48	0.55	0.67	0.77	0.96	1.27	2.10	7.70
	Prod. agrícolas	0.37	0.40	0.42	0.41	0.43	0.44	0.47	0.47	0.54	0.63	4.59
	Alim. de otros sectores primarios	0.07	0.08	0.09	0.09	0.09	0.12	0.11	0.13	0.16	0.23	1.18
Otros	Artículos de limpieza, cuidado personal y medicinas (325)	0.29	0.40	0.50	0.56	0.62	0.71	0.84	0.96	1.16	1.89	7.94
	Servicios crediticios y financieros (522)	0.01	0.03	0.04	0.05	0.07	0.11	0.17	0.24	0.46	1.82	3.00
	Ropa (315)	0.06	0.09	0.12	0.13	0.17	0.20	0.23	0.31	0.40	0.77	2.50
	Servilletas, papel y toallas sanitarias, pañales (322)	0.09	0.15	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.32	0.35	0.40	2.41
	Servicios de teléfono, internet, TV (517)	0.02	0.05	0.07	0.09	0.12	0.16	0.20	0.28	0.38	0.62	2.00
	Servicios educativos (611)	0.02	0.04	0.06	0.07	0.10	0.12	0.15	0.22	0.36	0.85	1.99
	Computadoras, celulares, cámaras, relojes, accesorios electrónicos (334)	0.02	0.02	0.05	0.04	0.08	0.13	0.21	0.20	0.35	0.57	1.66
	Zapatos, bolsas, cinturones (316)	0.03	0.06	0.07	0.08	0.10	0.10	0.12	0.17	0.20	0.33	1.26
	Electrodomésticos, focos y equipo de gen. eléctrica (335)	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.09	0.14	0.11	0.20	0.32	1.14
	Varios	0.17	0.25	0.31	0.43	0.53	0.61	0.89	1.14	1.67	3.90	9.89
Total	5.0	7.8	9.6	11.4	13.4	16.1	18.9	23.3	30.9	49.7	186.1	

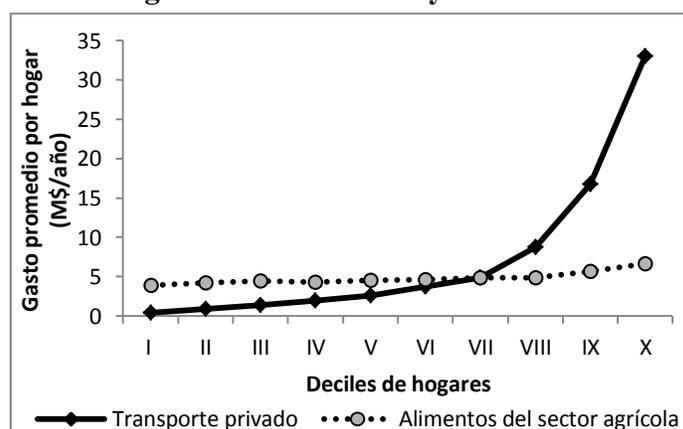
Elaboración propia.

Del análisis de estos datos devienen preocupaciones importantes en torno a las posibilidades de mitigar emisiones de CO₂ en los niveles necesarios para cumplir las metas

de mitigación de México y contribuir a limitar el incremento de la temperatura global. Como se ha estudiado hasta aquí, la cantidad y la estructura de la demanda juegan un papel relevante en la trayectoria de las emisiones de CO₂, por lo que futuros incrementos en los niveles de ingresos muy probablemente conducirían a elevar los niveles de dichas emisiones, pues la demanda final de los hogares mexicanos satisface la Ley de Engel.

Esta ley señala que ante aumentos en el ingreso, el gasto también aumenta, pero a una tasa menor; y que tal incremento en el gasto es heterogéneo entre los distintos tipos de bienes y servicios. Cuando los ingresos son bajos, se demandan bienes de primera necesidad, como alimentos; cuando los ingresos son mayores, se estimulan nuevos consumos no-básicos, como manufacturas complejas, autos privados, etc.¹²⁴ Como ejemplo de estas tendencias, el Gráfico 3-6 muestra las curvas de Engel de los gastos en alimentos procedentes del sector agrícola y los gastos en transporte privado (gasolinas y compra de autos) por nivel de ingresos, como bienes básicos y bienes no-básicos, respectivamente. Mientras el gasto erogado en bienes básicos crece ligeramente a medida que aumentan los ingresos, el gasto en bienes no-básicos aumenta exponencialmente.

Gráfico 3-6. Curvas de Engel de bienes básicos y bienes no-básicos en México, 2012.



Elaboración propia.

¹²⁴ Si bien resulta sumamente complicado clasificar los bienes y servicios en básicos y no-básicos (o suntuarios), y de hecho tal distinción escapa a los objetivos y alcances de esta investigación, a lo largo del texto se utiliza el término de bienes y servicios no-básicos para referir a aquellos que tienen sustitutos cercanos a los que se puede acceder a un menor nivel de precio. Asimismo, los consumos no-básicos pueden referir a aquellos que se adquieren en cantidades claramente superiores al promedio.

En concreto, por un lado, las emisiones crecerían por el crecimiento de la demanda. Por otro lado, las emisiones crecerían por el efecto de la estructura de la demanda. Tomando como referencia las evidencias que ahora se tienen sobre el gasto y las emisiones de CO₂ por niveles de ingreso en 2012, incrementos en el ingreso de los hogares llevarían a canastas de consumo más intensivas en carbono o relativamente estables en la mayor parte de los hogares (vale recordar que la intensidad de CO₂ total presentó una forma de U invertida suavizada), con pocas probabilidades de tener canastas menos intensivas en CO₂ (a menos que el ingreso de los hogares presentara niveles comparables al ingreso de los hogares ubicados en los deciles IX o X, donde la intensidad de CO₂ cae).

En efecto, al estimar la elasticidad gasto-emisiones de CO₂ por hogar para toda la distribución¹²⁵ se obtuvo un valor de 0.97, el cual indica que si el gasto total de un hogar fue 1% mayor que el de otro, sus emisiones de CO₂ totales fueron 0.97% más altas que las del segundo. Asimismo, se estimó una elasticidad ingreso-emisiones de CO₂ por hogar de 0.82¹²⁶, la cual indica que si el ingreso de un hogar fue 1% mayor que el de otro, sus emisiones de CO₂ totales fueron 0.82% más elevadas que las del segundo. Estos hallazgos para el caso de México están en línea con investigaciones previas (Lenzen M. , 1998; Weber & Matthews, 2008) que estimaron elasticidades de carbono con respecto al ingreso menores que con respecto al gasto (comentadas en el apartado 1.4.2.2 de esta tesis).

3.3 Enfoque descendente (*top-down*)

Hasta ahora, el enfoque descendente para estudios de desigualdad y cambio climático ha sido utilizado a nivel internacional (Chakravarty, Chikkatur, de Coninck, Pacala, Socolow, & Tavoni, 2009; Chancel & Piketty, 2015; EcoEquity; Stockholm Environment Institute, 2015; OXFAM, 2015), pues desarrollar un estudio ascendente global es muy complejo debido a la cantidad de información requerida. Un análisis descendente puede aplicarse con un modelo de elasticidad gasto-emisiones de CO₂ (o ingreso-emisiones de CO₂), el cual

¹²⁵ Para estimar la elasticidad gasto-emisiones de CO₂ se realizó una regresión doble logarítmica, donde la variable dependiente fueron las emisiones de CO₂ y la independiente el gasto total. La ecuación obtenida fue: $\ln CO_2 = -9.846919 + 0.9681527 \ln \text{gasto}_{tot}$

¹²⁶ La elasticidad ingreso-emisiones de CO₂ se estimó de forma análoga a la elasticidad gasto-emisiones de CO₂. La ecuación obtenida fue: $\ln CO_2 = -8.354572 + 0.8215496 \ln \text{ing}_{tot}$

utiliza tres insumos básicos: inventarios de emisiones de CO₂ (preferentemente con base en consumo); información del gasto por nivel de ingreso (o desigualdad del ingreso); y el valor de la elasticidad gasto-emisiones de CO₂ (o ingreso-emisiones de CO₂), del que, si se prescinde, se considera como 1 o cercano a 1.

Dado que no existe restricción alguna para aplicar un análisis descendente a un nivel distinto al global, este enfoque puede ser útil también a nivel nacional, especialmente cuando es difícil obtener suficiente información para desarrollar un estudio de tipo ascendente. Asimismo, es útil para estudiar un periodo amplio, lo que difícilmente se lograría con un análisis ascendente. Por tales motivos, se decidió realizar un análisis descendente para México para el periodo 1990-2014 (definido en función de la información disponible).

3.3.1 Metodología y datos

Siguiendo la metodología de Chancel y Piketty (2015) con algunas adaptaciones¹²⁷, se aplicó un modelo simple de elasticidad gasto-emisiones de CO₂ a nivel de hogares en México para el periodo 1990-2014 de forma bienal. Las emisiones de CO₂ por estrato económico fueron determinadas mediante la siguiente fórmula:

$$CO_{2i} = f_i \left(\frac{CO_2}{\sum_{i=1}^N f_i * y_i^e} \right) y_i^e \quad [5]$$

donde,

f_i = participación de la población del grupo i en la población total.

y_i = gasto medio del grupo i .

CO_2 = emisiones de CO₂ de los hogares (directas e indirectas).

N = número de grupos.

e = elasticidad gasto-emisiones de CO₂.

¹²⁷ Chancel y Piketty (2015) aplicaron un modelo de elasticidad a nivel global; emplearon datos de ingreso o gasto de los hogares para estimar y_i ; y usaron las emisiones de CO₂ totales de los inventarios basados en consumo para determinar CO_2 . En contraste, en este estudio se aplicó un modelo de elasticidad a nivel nacional; se emplearon datos del gasto de los hogares para estimar y_i ; y se usaron las emisiones de CO₂ atribuidas al gasto de los hogares de los inventarios basados en consumo para determinar CO_2 .

Las tres principales fuentes de información utilizadas se refieren a continuación, así como algunas de sus características y la forma en que fueron trabajadas para fines de esta investigación.

1) *Inventario de emisiones de CO₂ con enfoque de consumo a nivel nacional del CDIAC (actualización de (Peters, Minx, Weber, & Edenhofer, 2011)).*

Debido a que en la información oficial de México no hay estimaciones del inventario de emisiones de CO₂ con base en consumo, se decidió utilizar tal inventario del CDIAC, ya que éste es considerado una fuente de información confiable (en conjunto con la IEA, es el principal proveedor de estadísticas de emisiones de CO₂ del Banco Mundial) y reporta un periodo más amplio que otros inventarios del mismo tipo¹²⁸; además, el inventario territorial que publica este centro sigue tendencias muy similares a las del INEGyCEI (INECC-SEMARNAT, 2018).

El inventario de emisiones con base en consumo del CDIAC considera tres categorías de emisiones de CO₂: las generadas por el consumo de combustibles fósiles, las derivadas de la producción de cemento y el venteo de gas; y excluye las emisiones de CO₂ de bunkers internacionales. De dichas emisiones, el inventario contabiliza las emisiones de CO₂ directas (por la quema de combustibles fósiles al consumir energía como bien final) y las emisiones de CO₂ indirectas (incorporadas en los bienes y servicios finales adquiridos por los hogares, el gasto de gobierno y la inversión). Las emisiones de CO₂ indirectas pudieron generarse en el sector productivo nacional o extranjero (incluso en varios países).

Las tres categorías de emisiones de CO₂ consideradas en el inventario no se reportan de forma desagregada, en consecuencia el análisis descendente aquí realizado considera este conjunto de emisiones de CO₂ y no solamente a las emisiones de CO₂

¹²⁸ Otros inventarios de CO₂ con base en consumo y su cobertura: Eora 1990-2013; EXIOBASE 1995-2012; GTAP 2004, 2007, 2011; OECD ICIO 1995-2011; WIOD 1995-2009.

por consumo de combustibles fósiles como se hizo en el análisis ascendente¹²⁹. Para el caso de México, el inventario contiene estimaciones anuales de las emisiones de CO₂ de 1990 a 2014. Dado que el objetivo de esta investigación es analizar la relación entre el gasto de los hogares mexicanos y las emisiones de CO₂ directas e indirectas que éstos generan, usar el total de las emisiones de CO₂ contabilizadas por el inventario basado en consumo resultaría controvertido, ya que éste incluye las emisiones incorporadas en la demanda final de los hogares, el sector público y el sector privado. Por tal motivo, a diferencia de Chancel y Piketty (2015), aquí solo se consideraron las emisiones de CO₂ atribuidas al consumo de los hogares.

Dado que hasta ahora la actualización del inventario de Peters, Minx, Weber y Edenhofer (2011) no reporta de forma separada las emisiones por sector de consumo, fue necesario recurrir a otras fuentes. Según información proporcionada por Glen Peters del *Center for International Climate and Environmental Research – Oslo*, el 75% de las emisiones de CO₂ basadas en consumo en México en 2011 se asociaron al consumo de los hogares. Al no tener mayor información sobre este dato¹³⁰, se supuso la misma proporción para el periodo completo.

2) *ENIGH tradicional (INEGI, varios años).*

La ENIGH provee datos del ingreso y el gasto trimestral de los hogares mexicanos. La primera ENIGH se realizó en el año 1984, la segunda en 1989, y posteriormente

¹²⁹ Según el inventario territorial del CDIAC, el cual sí reporta las emisiones de CO₂ de manera desagregada, en México durante el periodo de estudio el conjunto de emisiones de CO₂ se integró en promedio de la siguiente forma: 94% emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles; 4% emisiones de CO₂ por la producción de cemento; y 2% emisiones de CO₂ por venteo de gas. De estos datos se deduce que la proporción de emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles del inventario basado en consumo podría ser mayor al 94%, ya que la proporción correspondiente a emisiones de CO₂ por la producción de cemento seguramente es menor en este inventario debido a que en México las exportaciones de cemento superan a las importaciones.

¹³⁰ En general, sobre este punto hay poca información disponible. En los esfuerzos de esta investigación se ubicaron únicamente dos trabajos que diferenciaron las emisiones de consumo de acuerdo al sector de consumo. Ivanova, *et al.* (2016) estimaron que en el año 2007 a nivel global, aproximadamente el 65% (± 7%) de las emisiones de consumo derivaron de la demanda de los hogares; y OXFAM (2015) utilizó una proporción bastante similar también a nivel global: 64% para el año 2014.

las ENIGH se han aplicado de manera bienal en el periodo 1992-2016 (adicionalmente hubo una ENIGH extraordinaria en 2005).

Para aplicar el análisis descendente, la ENIGH 1989 se utilizó como un proxy de 1990 y se utilizaron las ENIGH del periodo 1992-2014 para así cubrir el periodo 1990-2014 bienalmente. Al igual que con la metodología ascendente, las ENIGH se trabajaron a nivel de micro-datos mediante el programa Stata, los hogares se clasificaron en deciles de acuerdo a su nivel de ingreso total y se analizaron sus gastos totales. Asimismo, se supuso que los datos trimestrales de ingreso y gasto reportados en las ENIGH fueron iguales en todos los trimestres del año correspondiente.

3) *Elasticidad gasto-emisiones de CO₂.*

Se tomó el valor de la elasticidad gasto-emisiones de CO₂ total estimado con la metodología ascendente (0.97). Si bien al tomar este único dato para analizar el periodo 1990-2014 se supone que la elasticidad de 2012 fue representativa para todo el periodo de estudio, este supuesto se considera factible, pues si el valor de la elasticidad es 1 o cercano a 1, los resultados de los modelos de elasticidad son poco sensibles a pequeños cambios en dicho valor (Chakravarty, Chikkatur, de Coninck, Pacala, Socolow, & Tavoni, 2009; Chancel & Piketty, 2015). De hecho, diversos estudios descendentes han supuesto valores únicos de elasticidad de 1 o cercanos a 1 para periodos amplios¹³¹. Además, por ahora no se cuenta con otras estimaciones de elasticidad gasto-emisiones de CO₂ para el caso de México (o al menos no fue posible ubicarlas en esta investigación).

Con la metodología y las fuentes de información seleccionadas, el alcance de este análisis descendente es estimar los niveles de emisiones de CO₂ totales de los hogares mexicanos por deciles de ingreso entre 1990 y 2014, primer análisis de este tipo para el caso de México (para el conocimiento de la autora). En cuanto a las limitaciones por el diseño de la metodología y las fuentes de información, se ubicaron las siguientes:

¹³¹ Ver sección 1.4.2.2 de este trabajo.

1. En torno a la metodología, el principal inconveniente del modelo utilizado es que supone una elasticidad gasto-emisiones de CO₂ homogénea a lo largo de toda la curva de ingresos.
2. Las limitaciones por la disponibilidad de información se relacionan con:
 - a. Falta de estimaciones y datos periódicos sobre la proporción del inventario de emisiones de consumo correspondiente a los hogares y sobre la elasticidad gasto-emisiones de CO₂, lo que llevo a suponerlas constantes durante todo el periodo de estudio.
 - b. El sub-reporte de gastos de la ENIGH (al cual también se refirió en las limitaciones del análisis ascendente) afecta el análisis descendente por los sesgos en la distribución de los gastos entre deciles, lo que podría derivar en sub-estimaciones de emisiones de CO₂ para algunos deciles y afectar la distribución de las emisiones de CO₂ entre el conjunto los hogares.

3.3.2 Resultados y discusión

El Cuadro 3-9 muestra a manera de resumen algunos de los indicadores más significativos y en el Anexo D se pueden consultar las estimaciones de emisiones de CO₂ (en términos absolutos, por hogar y per cápita) por deciles de hogares para todo el periodo de estudio.

Cuadro 3-9. Emisiones de CO₂ anuales por nivel de ingresos en México, 1990-2014.

Deciles de hogares	Emisiones de CO ₂ (MtCO ₂)			Participación en las emisiones (%)			Tasas de crecimiento 1990-2014		Emisiones de CO ₂ por hogar (tCO ₂)			Emisiones de CO ₂ per cápita (tCO ₂)		
	1990	2014	Prom.	1990	2014	Prom.	Bienal prom.	Total	1990	2014	Dif.	1990	2014	Dif.
I	5.4	12.0	7.8	2.3	3.0	2.4	7.2	121.8	3.39	3.78	0.39	0.81	1.27	0.46
II	8.4	16.6	11.5	3.5	4.2	3.5	6.1	97.8	5.26	5.23	-0.03	1.18	1.58	0.40
III	10.6	20.0	14.4	4.4	5.1	4.5	5.7	89.7	6.61	6.33	-0.28	1.35	1.82	0.46
IV	12.5	23.8	17.3	5.2	6.0	5.4	5.8	90.8	7.81	7.50	-0.31	1.62	2.01	0.38
V	14.9	27.0	20.5	6.3	6.8	6.4	5.2	80.7	9.36	8.53	-0.83	1.89	2.21	0.33
VI	18.2	31.1	24.2	7.7	7.8	7.6	4.9	71.2	11.39	9.82	-1.57	2.17	2.48	0.31
VII	22.1	35.9	29.2	9.3	9.1	9.1	4.2	62.4	13.88	11.35	-2.54	2.58	2.71	0.13
VIII	27.8	44.3	36.2	11.7	11.2	11.3	4.2	59.3	17.43	14.00	-3.42	3.30	3.29	-0.01
IX	36.3	59.0	49.0	15.3	14.9	15.4	4.4	62.5	22.77	18.61	-4.16	4.34	4.36	0.02
X	81.2	126.6	109.2	34.2	31.9	34.5	4.3	55.9	50.83	39.97	-10.86	10.35	10.45	0.10
Total / Promedio*	237.4	396.3	319.2	100.0	100.0	100.0	4.6	67.0	14.88	12.51	-2.36	3.0	3.3	0.29

Elaboración propia.

El resultado conjunto más trascendente es que entre 1990 y 2014 las emisiones de CO₂ en todos los deciles de ingreso se mostraron al alza y que los patrones de gasto de los hogares mexicanos con ingresos altos generaron considerablemente más emisiones de CO₂ totales (directas e indirectas) que los patrones de gasto de los hogares con ingresos bajos, tanto en términos absolutos como por hogar y per cápita (ver Cuadro 3-9).

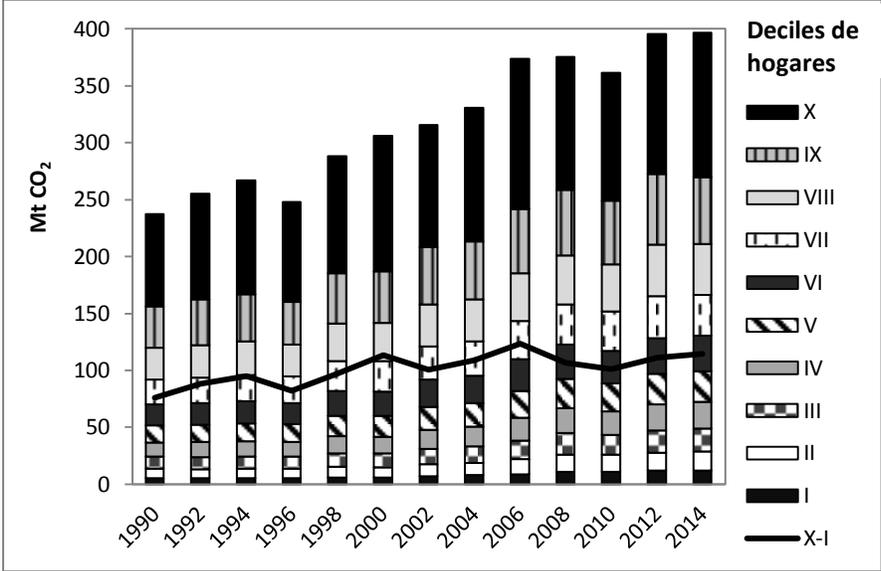
En términos absolutos, el Gráfico 3-7 muestra dos tendencias importantes. En primer lugar, una trayectoria creciente de las emisiones de CO₂ totales derivadas del gasto de los hogares, lo cual contrasta con la mayoría de los análisis de las emisiones de CO₂ del sector residencial mexicano, ya que éstos solamente consideran las emisiones de CO₂ directas generadas al interior de la vivienda (gas natural, gas L.P. y otros combustibles para generar calor). De acuerdo con el INEGyCEI (INECC-SEMARNAT, 2018), por ejemplo, las emisiones de CO₂ del sector residencial crecieron aproximadamente 2% entre 1990 y 2014: mostraron una tendencia al alza hasta 1998, después cayeron y se mantuvieron relativamente estables en los años 2000's, para posteriormente descender en la primera mitad de la presente década. Sin embargo, el sector residencial se relaciona también con las emisiones de CO₂ derivadas de la generación de electricidad y el transporte, así como con emisiones de CO₂ indirectas que están incorporadas en diferentes grados en prácticamente todos los bienes y servicios (comida, autos, turismo, electrodomésticos, servicios de salud, etc.). Al considerar todas estas categorías, la trayectoria de las emisiones de CO₂ es muy diferente: las emisiones de CO₂ de los hogares mexicanos crecieron aproximadamente 67% entre 1990 y 2014.

En segundo lugar, el Gráfico 3-7 muestra que las emisiones de CO₂ de los hogares con ingresos altos fueron considerablemente mayores que las de los estratos de ingresos bajos. Entre 1990 y 2014, el decil X emitió 109.2 MtCO₂ promedio anual, en contraste, el 10% de los hogares más pobres emitieron 7.8 MtCO₂ promedio anual. En términos porcentuales, lo anterior implica participaciones de 34.5 y 2.4%, respectivamente (ver Cuadro 3-9).

Aunque durante el periodo de estudio las tasas de crecimiento de las emisiones de CO₂ de los grupos de ingresos bajos fueron mayores que las tasas de crecimiento de sus

contrapartes con ingresos altos, las diferencias en términos absolutos fueron aún muy grandes incluso al final del periodo (ver Cuadro 3-9). Entre 1990 y 2014, la diferencia entre las emisiones de CO₂ atribuidas al 10% de los hogares con mayores ingresos y al 10% de los hogares con menores ingresos (línea del Gráfico 3-7) no disminuyó, sino que aumentó ligeramente, lo cual indica que el crecimiento de las emisiones de CO₂ podría atribuirse en mayor medida a los altos niveles de gasto de los hogares con mayores ingresos.

Gráfico 3-7. Emisiones de CO₂ anuales por nivel de ingresos en México, 1990-2014.



Elaboración propia.

A pesar de la creciente brecha de carbono entre los hogares ricos y pobres, hubo también algunos cambios en otros grupos de ingresos que llevaron a la desigualdad de carbono ligeramente a la baja, al menos si ésta se aproxima mediante el índice de Gini. En años recientes hubo una distribución de carbono más equitativa por niveles de ingresos que en los años 1990's o en la primera mitad de la década 2000's. Por el diseño del modelo y la evolución del ingreso y el gasto de los hogares en México, los índices de Gini del carbono fueron menores que los del gasto, y éstos a su vez menores que los del ingreso (ver Cuadro 3-10). La pequeña diferencia entre los índices de Gini del carbono y los del gasto se explica por el uso de una elasticidad gasto-emisiones de CO₂ muy cercana a 1 (0.97); mientras que la diferencia entre los índices de Gini del gasto y los del ingreso se debe a las distintas propensiones a gastar según nivel de ingresos (en los hogares con menores ingresos la

propensión al gasto puede superar la unidad, mientras que en los hogares con ingresos más altos se registran propensiones menores).

Cuadro 3-10. Índices de Gini de las emisiones de CO₂, el gasto total y el ingreso total en México, 1990-2014

Año	Índices de Gini		
	Emisiones de CO ₂	Gasto total	Ingreso total
1990	0.42	0.43	0.47
1992	0.45	0.46	0.49
1994	0.46	0.47	0.48
1996	0.43	0.45	0.47
1998	0.44	0.45	0.48
2000	0.47	0.48	0.50
2002	0.43	0.44	0.47
2004	0.43	0.44	0.46
2006	0.43	0.44	0.46
2008	0.38	0.39	0.47
2010	0.38	0.39	0.44
2012	0.38	0.39	0.45
2014	0.38	0.39	0.45

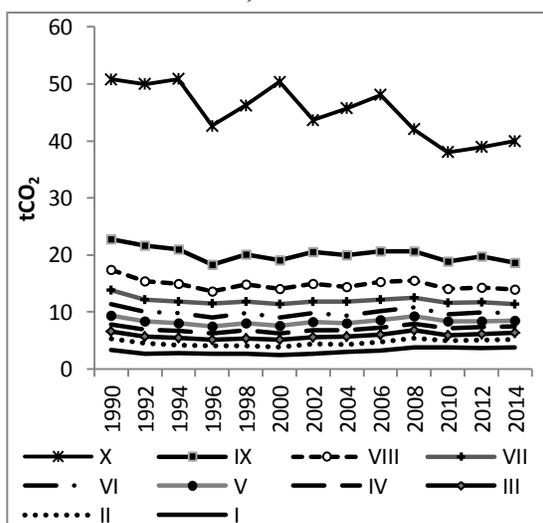
Elaboración propia.

Finalmente, las emisiones de CO₂ promedio anual en términos relativos (por hogar y per cápita) se presentan en los Gráficos 3-8 y 3-9. A nivel de hogares, la brecha de las emisiones de CO₂ entre el grupo de mayores ingresos y el de menores ingresos disminuyó 24% entre 1990 y 2014 (pasó de 47.4 a 36.2 tCO₂). Tal disminución se explica, principalmente, por una tendencia a la baja en el promedio de emisiones de CO₂ por hogar en el decil X. A pesar de esta brecha decreciente, al final del periodo el promedio de las emisiones de CO₂ por hogar del decil X fue 10.6 veces mayor que el promedio de las emisiones de CO₂ por hogar del decil I (ver Cuadro 3-9 y Gráfico 3-8).

A nivel per cápita, la brecha de las emisiones de CO₂ entre los deciles X y I mostró una reducción más pequeña que a nivel de hogares (la brecha per cápita se redujo 4%, al pasar de 9.5 a 9.2 tCO₂), lo cual se explica por la reducción en el tamaño de los hogares (miembros del hogar). Esta ligera mejoría en la distribución de las emisiones per cápita se debe, por un lado, al crecimiento de las emisiones per cápita en los grupos de bajos ingresos y, por otro lado, al nivel relativamente estable de las emisiones per cápita en los deciles de mayores ingresos. A pesar de estos cambios, entre 1990 y 2014 se registró una disparidad

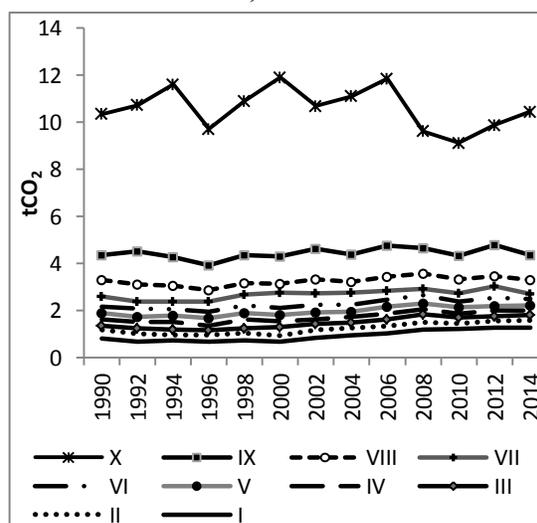
persistente de las emisiones de CO₂ per cápita por nivel de ingresos. El contraste más fuerte se observó en el 2000, año en el que se registró un incremento en la desigualdad económica en el país, y las emisiones de CO₂ promedio de cada individuo del 10% de los hogares más ricos fueron 17.5 veces mayores que las emisiones de CO₂ de los individuos pertenecientes al 10% de los hogares más pobres. Para 2014, aunque el contraste fue menor, las emisiones de CO₂ generadas por cada individuo del decil X fueron 8.2 veces mayores que las emisiones de CO₂ generadas por cada individuo del 10% más pobre; y 2.4 veces mayores que las de los individuos del decil IX (ver Cuadro 3-9 y Gráfico 3-9).

Gráfico 3-8. Emisiones de CO₂ promedio anual por hogar por nivel de ingresos en México, 1990-2014.



Elaboración propia.

Gráfico 3-9. Emisiones de CO₂ promedio anual per cápita por nivel de ingresos en México, 1990-2014.



Elaboración propia.

Sintetizando, el modelo de elasticidad gasto-emisiones de CO₂ aplicado al caso de México representa una alternativa para estudiar la relación entre la demanda de los hogares por nivel de ingresos y las emisiones de CO₂ en un periodo relativamente amplio. Los resultados en general apuntan a una desigualdad extrema en la generación de emisiones de CO₂ entre estratos económicos, donde los hogares con mayores ingresos emiten significativamente más CO₂ que los hogares con ingresos bajos. Entre 1990 y 2014 se observaron algunos avances en los índices de desigualdad de CO₂, no obstante, tanto en términos absolutos como por hogar y per cápita, las emisiones de CO₂ de los hogares se han mantenido al alza.

3.4 Comparación entre los análisis ascendente y descendente

La comparación explícita entre los análisis cuantitativos ascendente y descendente expuestos en este capítulo únicamente se hace para 2012, ya que la metodología ascendente solo fue realizada para dicho año. Antes de profundizar en las similitudes o diferencias entre los resultados de los análisis, conviene recordar que las emisiones de CO₂ estimadas en cada enfoque no aluden estrictamente al mismo concepto. Como se detalló en la descripción de las metodologías y los datos, el enfoque ascendente consideró emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles; mientras que el enfoque descendente consideró emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles, producción de cemento y venteo de gas. Por lo tanto, se esperaría que la estimación descendente de las emisiones de CO₂ atribuidas a los hogares fuera mayor que la estimación ascendente, pero solo en una pequeña proporción, pues las emisiones derivadas de producción de cemento y venteo de gas representan proporciones menores.

Los resultados de la aplicación de las metodologías de Golley y Meng (2012) y de Chancel y Piketty (2015) para la estimación de emisiones de CO₂ totales de los hogares por niveles de ingreso en México coinciden en señalar una fuerte desigualdad en el nivel de emisiones de los hogares por niveles de ingreso, derivada de sus patrones de gasto. De acuerdo con ambos enfoques, la mayor parte de las emisiones de CO₂ con base en consumo se atribuyen a los hogares con mayores ingresos. Sin embargo, como puede notarse en el Cuadro 3-11, estos resultados divergen en dos puntos: 1) los niveles de desigualdad son ligeramente diferentes; 2) los niveles de emisiones de CO₂ contrastan ampliamente.

Respeto al primer punto, el enfoque descendente apuntó a una desigualdad más pronunciada que el enfoque ascendente (índices de Gini de 0.38 y 0.36, respectivamente). El decil X fue el grupo que presentó un mayor contraste en su participación en las emisiones de CO₂ del total de hogares: 31.1% con el análisis descendente vs 26.7% con el análisis ascendente. Estas variaciones se explican por el uso de una elasticidad gasto-emisiones de CO₂ homogénea a lo largo de la curva de ingresos en la estimación con enfoque descendente (limitación comentada en el apartado 3.3.1). Al no considerar la diversidad en la estructura del gasto de los hogares, con el enfoque descendente se

sobreestimaron las emisiones de CO₂ de los deciles con canastas de consumo menos intensivas en carbono (de acuerdo con los resultados del análisis ascendente, el gasto del decil X fue el de menor intensidad de carbono). Esta apreciación es muy probablemente extensiva para todo el periodo evaluado con el análisis descendente.

Para resolver este problema sería necesario modificar el modelo de elasticidad gasto-emisiones de CO₂ de forma que se trabajen distintas elasticidades a lo largo de la curva de ingresos. Para ello, por supuesto, sería indispensable contar con estimaciones de las elasticidades e intensidades de CO₂ por niveles de ingreso a lo largo del tiempo, de lo cual por ahora se carece. De tal suerte, es igualmente deseable la exploración de otras metodologías que puedan sortear las carencias hasta aquí señaladas.

Cuadro 3-11. Comparación de las emisiones de CO₂ de los hogares en México, 2012: enfoque ascendente vs enfoque descendente

Deciles de hogares	Ascendente		Descendente	
	MtCO ₂	%	MtCO ₂	%
I	5.0	2.7	11.7	3.0
II	7.8	4.2	16.1	4.1
III	9.6	5.2	19.3	4.9
IV	11.4	6.1	23.1	5.8
V	13.4	7.2	26.5	6.7
VI	16.1	8.7	31.3	7.9
VII	18.9	10.1	37.0	9.4
VIII	23.3	12.5	45.1	11.4
IX	30.9	16.6	62.5	15.8
X	49.7	26.7	123.1	31.1
Suma	186.1	100.0	395.7	100.0
Índices de Gini	0.36		0.38	

Elaboración propia.

Sobre el punto dos, la gran disparidad entre las estimaciones ascendente y descendente (186.1 vs 395.7 MtCO₂) se explica fundamentalmente por la inconsistencia entre los datos del gasto de la ENIGH y los datos del consumo privado de la MIP (limitación señalada en el apartado 3.2.1). El sub-reporte de gastos en la ENIGH efectivamente derivó en una sub-estimación de las emisiones de CO₂ de los hogares con el enfoque ascendente. Mientras los gastos totales reportados en la ENIGH de 2012 representaron casi el 49% del consumo privado reportado en la MIP, las emisiones de CO₂ estimadas con el análisis ascendente representaron 47% de las estimadas con el análisis descendente. Dado que estas observaciones sugieren que efectivamente la sub-estimación de emisiones con el enfoque

ascendente tiene su raíz en el sub-reporte del gasto de la ENIGH, no se descarta la viabilidad de esta metodología, empero para el caso de México representa un gran reto corregir los reportes del gasto por niveles de ingreso. Para subsanar los sesgos, habría que determinar en qué gastos y en qué hogares la ENIGH reportó un gasto menor al realmente efectuado.

El sub-reporte en la ENIGH y su desajuste con las Cuentas Nacionales es un problema de gran envergadura que ha sido abordado desde hace tiempo en los estudios de pobreza y desigualdad, los cuales han analizado explícitamente las incompatibilidades en el ingreso (Cortés, 2001; Cortés & Vargas, 2017; Damián, 2007; Leyva Parra, 2004; Villatoro, 2015). Estos estudios han identificado básicamente dos fenómenos que conducen al sub-reporte del ingreso en las ENIGH, el cual por cierto se ha mantenido muy alto a lo largo del tiempo¹³². Por un lado, hay un truncamiento en ambas colas de la distribución por deficiencias en el diseño muestral y el operativo de campo, es decir, que en las encuestas no están reportados los hogares más pobres ni los más ricos, aunque los hogares con mayores ingresos tienen menos probabilidades de ser seleccionados. De tal suerte, Cortés (2012), por ejemplo, señala que el decil X de los hogares mexicanos no está compuesto por los más ricos, sino por profesionistas, trabajadores de la educación y artistas, funcionarios públicos o privados, oficinistas, comerciantes, vendedores y agentes de ventas.

Por otro lado, las personas entrevistadas tienden a declarar, voluntaria o involuntariamente, ingresos menores a los realmente percibidos, lo cual es más acentuado en los hogares con mayores ingresos, tanto en términos proporcionales como absolutos. En conjunto, el efecto de truncamiento y el efecto de sub-declaración conducen al sub-reporte del ingreso en las ENIGH, el cual afecta en mayor medida al reporte de los ingresos de los hogares más ricos y conduce a subestimar la desigualdad.

Ante esta problemática, algunos autores han optado por ajustar el ingreso de la ENIGH al de Cuentas Nacionales (Altimir, 1982; Martínez de Navarrete, 1960; Hernández

¹³² En años recientes, la brecha entre ingreso per cápita de la encuesta de hogares y el consumo privado per cápita de las Cuentas Nacionales en México es mayor a 2, relación muy alta en comparación con otros países de la OCDE y también de América Latina (Mancero, 2016).

Laos, 2000, 2001, 2003, 2006, citados en (del Castillo Negrete, 2015)), asumiendo intrínsecamente que las Cuentas Nacionales son más precisas que la ENIGH. A pesar de que este tipo de ajustes son de larga data en México, hasta ahora no existe un consenso metodológico sobre la manera más fidedigna de aproximar la distribución del ingreso (con factores de ajuste por niveles, por fuentes de ingreso o una combinación de ambos); y, de hecho, algunos estudiosos de la desigualdad y la pobreza consideran que estos ajustes son inapropiados por agregar mayores sesgos a las mediciones existentes.

Por mucho tiempo, los ejercicios de ajuste del ingreso consideraron únicamente la sub-declaración de ingresos de los entrevistados y no el efecto del truncamiento, sin embargo, este curso se ha modificado. Recientemente, algunos autores han considerado formas alternativas para corregir los sesgos en la distribución del ingreso que reflejen también el efecto de truncamiento, por ejemplo, mediante el uso de otras fuentes de datos o métodos estadísticos diversos (Bustos & Leyva, 2017; Campos, Chávez, & Esquivel, 2015; del Castillo Negrete, 2015).

Ahora bien, retomando la gran disparidad observada entre las estimaciones de las emisiones de CO₂ con las metodologías ascendente y descendente (ver Cuadro 3-11), y dado el sub-reporte del gasto en la ENIGH, habría que utilizar datos ajustados del gasto para corregir la estimación ascendente de las emisiones de CO₂. Sin embargo, aunque las diversas metodologías arriba mencionadas han explorado ampliamente las opciones para corregir el sub-reporte de ingreso de las ENIGH, éstas no han trabajado explícitamente en la corrección del gasto, por lo que hasta ahora no se tienen indicios sobre datos ajustados del gasto. Un par de opciones iniciales se consideran en esta investigación como posibles vías de corrección, aunque en ambas se distinguen limitantes importantes.

1. Aplicar un factor de ajuste global derivado de la razón consumo privado de la MIP y gasto total de la ENIGH, que para el año 2012 fue de 2.05. Así, las nuevas estimaciones con el análisis ascendente ajustado ascenderían a 381.5 MtCO₂ (96% de las emisiones calculadas con el enfoque descendente) y la distribución de las emisiones entre los deciles de hogares no sería modificada (ver Cuadro 3-12).

Cuadro 3-12. Comparación de las emisiones de CO₂ de los hogares en México, 2012: enfoque ascendente con factor de ajuste global vs enfoque descendente

Deciles	Ascendente ajustado mediante factor de ajuste global		Descendente	
	MtCO ₂	%	MtCO ₂	%
I	10.3	2.7	11.7	3.0
II	15.9	4.2	16.1	4.1
III	19.7	5.2	19.3	4.9
IV	23.3	6.1	23.1	5.8
V	27.5	7.2	26.5	6.7
VI	33.0	8.7	31.3	7.9
VII	38.7	10.1	37.0	9.4
VIII	47.7	12.5	45.1	11.4
IX	63.4	16.6	62.5	15.8
X	101.9	26.7	123.1	31.1
Suma	381.5	100.0	395.7	100.0
Índices de Gini	0.36		0.38	

Elaboración propia.

Sin embargo, dadas las estimaciones de CO₂ obtenidas con el enfoque ascendente original, hay motivos para suponer que corregir las emisiones con un factor de ajuste global distorsiona la estructura real de las emisiones. Recuérdese que las emisiones de CO₂ directas estimadas por consumo de combustibles en la vivienda (gas L.P., gas natural y queroseno) resultaron muy cercanas a las reportadas por el INEGEYCEI como emisiones del sector residencial que considera los mismos combustibles, lo que sugiere que el sub-reporte de gastos de la ENIGH no es muy amplio en estos conceptos y, por lo tanto, debe ser más sesgado en otros.

2. Reestimar las emisiones de CO₂ con base en los datos del consumo privado por subsector económico de la MIP (en vez de utilizar el gasto total de la ENIGH). Ya que con los datos de la MIP las emisiones de CO₂ directas no se pueden reestimar por falta de información desagregada que permita distinguir los distintos productos que generan emisiones de CO₂ directas (los cuales tienen factores de emisión diferenciados), la reestimación solo se aplica a las emisiones de CO₂ indirectas. Al proceder de este modo, se calcula que con el enfoque ascendente se subestimaron 179.1 MtCO₂ indirectas. Una ventaja de esta aproximación es la posibilidad observar en qué subsectores están subestimadas las emisiones (subsectores que reportan una diferencia negativa en el Cuadro 3-13), empero se observan también

subsectores con emisiones sobreestimadas (subsectores que reportan una diferencia positiva en el Cuadro 3-13); lo cual implica que los gastos de la ENIGH no siempre reportan datos menores que la MIP. Las diferencias más importantes (mayores a 10 MtCO₂) se presentaron en los subsectores 485-transporte terrestre de pasajeros, excepto por ferrocarril, 484-autotransporte de carga, 431-comercio, 311-industria alimentaria y 336-fabricación de equipo de transporte, que en conjunto subestimaron 140.5 MtCO₂.

Cuadro 3-13. Diferencia en las emisiones de CO₂ indirectas de los hogares en México, 2012: enfoque ascendente original – estimación con datos de MIP

Subsector (clave SCIAN)	Diferencia (MtCO ₂)	Subsector (clave SCIAN)	Diferencia (MtCO ₂)	Subsector (clave SCIAN)	Diferencia (MtCO ₂)	Subsector (clave SCIAN)	Diferencia (MtCO ₂)
111	0.74	322	0.76	486	-0.26	551	0.00
112	-0.08	323	0.51	487	-0.77	561	-0.07
113	-0.01	324	0.43	488	-0.53	562	-0.06
114	0.20	325	-2.93	491	0.00	611	0.86
115	-0.01	326	-2.89	492	-0.23	621	-0.27
211	0.00	327	-1.22	493	0.00	622	-0.27
212	0.00	331	-0.06	511	0.04	623	-0.03
213	0.00	332	-2.44	512	0.18	624	-0.09
221	-1.50	333	-0.14	515	-0.56	711	-0.06
222	0.22	334	-3.59	517	-1.46	712	-0.01
236	0.30	335	-1.35	518	0.00	713	-0.66
237	0.00	336	-10.40	519	0.00	721	-2.87
238	0.00	337	-0.71	521	0.00	722	3.99
311	-14.12	339	-1.98	522	0.43	811	-0.67
312	-3.19	431	-16.65	523	-0.06	812	-1.44
313	-0.50	481	-4.77	524	-0.50	813	-0.55
314	-0.30	482	-0.97	531	-6.65	814	0.00
315	0.38	483	-0.52	532	-0.09	931	0.06
316	0.15	484	-46.92	533	0.00	932	0.00
321	-0.15	485	-52.41	541	-0.31	Total	-179.08

Elaboración propia.

Si a las emisiones de CO₂ totales calculadas con el enfoque ascendente original se suman las emisiones indirectas subestimadas, las emisiones de CO₂ totales ascenderían a 365.2 MtCO₂ (92% de las emisiones calculadas con el enfoque descendente). La desventaja en esta segunda opción es que no es posible saber de qué manera se distribuyen las emisiones entre los deciles de los hogares.

Por otra parte, dados los hallazgos de investigaciones previas de que el sub-reporte del ingreso afecta de manera más amplia a los hogares con mayores ingresos, es muy

probable que las emisiones de CO₂ de los deciles con mayores ingresos hayan sido subestimadas, tanto con el análisis ascendente como con el descendente. Por ahora, ninguna de las dos alternativas de corrección arriba expuestas contribuyen a reducir tal sesgo. Aún más, en el caso de la estimación descendente, se percibe complejo ajustar el gasto en un periodo amplio (de los estudios revisados que han corregido la distribución del ingreso, ninguno ha logrado corregir un periodo tan amplio, ya que, señalan, los sub-reportes de la ENIGH son variables en el tiempo).

De tal suerte, el presente trabajo se limita a señalar las restricciones de las estimaciones realizadas y un par de opciones iniciales para corregir los posibles sesgos, con el ánimo de que esta información sea considerada en la interpretación de los resultados, y, por supuesto, de que sea retomada en futuras investigaciones para mejorar las estimaciones hasta aquí desarrolladas.

Por último, vale la pena resaltar que, a pesar de las limitantes discutidas, tanto el análisis ascendente como el descendente contribuyen a incorporar de manera formal el papel de la demanda en el estudio del cambio climático, así como a aproximar su importancia como impulsor de las emisiones de CO₂. Aún más, al incorporar la diversidad de emisiones según niveles de ingreso, los análisis permiten focalizar en qué grupos de ingresos hay un mayor margen de posibilidades para mitigar CO₂; y en el caso del análisis descendente, aproximar responsabilidades históricas. Por otra parte, con el análisis ascendente, tal orientación puede combinarse con la identificación de los sectores económicos que vía demanda inciden significativamente en el incremento de las emisiones de CO₂, ya sea por la intensidad de carbono de su producción o por la alta demanda de los satisfactores que producen.

3.5 Conclusiones

El análisis empírico cuantitativo sobre la relación entre la demanda de bienes y servicios de los hogares por nivel de ingresos y las emisiones de CO₂ para el caso de México muestra una relación directa, tanto con la metodología ascendente como con la descendente. Ambas metodologías sugieren una gran desigualdad de carbono entre estratos económicos.

Con la aplicación de la metodología ascendente de Golley y Meng (2012) para el caso de México para el año 2012, se encontró una relación directa entre el nivel de ingresos de los hogares y las emisiones de CO₂ con una forma cóncava hacia arriba, es decir, las emisiones de CO₂ aumentaron a un ritmo creciente a medida que el ingreso de los hogares fue mayor. Con este análisis se estimaron un total de 186.1 MtCO₂ asociadas con el gasto de los hogares y un coeficiente de Gini de carbono de 0.36. El 10% de los hogares más pobres emitieron alrededor del 2.7% de las emisiones de CO₂ del sector hogares, mientras que el 10% de los hogares más ricos participaron con el 26.7%. En términos relativos, las emisiones por hogar y per cápita del decil X ascendieron a 15.7 y 4.0 tCO₂ anuales, mientras que las del decil I fueron 1.6 y 0.6 tCO₂ anuales, respectivamente.

El análisis ascendente es útil para estudiar cómo la cantidad y la estructura del gasto por niveles de ingreso se relacionan con la generación de las emisiones de CO₂ y, por ende, ambos son determinantes en la desigualdad del carbono. En torno a la estructura del gasto, se ubicó que las canastas de consumo menos intensivas en carbono se encuentran en el decil X, seguido del decil I; es decir, que las intensidades de CO₂ del gasto dibujan una suave y ancha U invertida, que implica que gran parte de los hogares presentan canastas de consumo con intensidades de carbono similares. Así, la elasticidad gasto-emisiones de CO₂ fue muy cercana a 1 lo largo de toda la curva de ingresos, excepto al pasar del decil IX al X, donde se ubicó en 0.69. Paradójicamente, fue el decil X el que se asoció con mayores emisiones de CO₂, tanto en términos absolutos como por hogar y per cápita, lo que indica un peso importante de la cantidad de la demanda y no solo de su estructura.

Otra ventaja del análisis ascendente es que permite distinguir el nivel de emisiones de CO₂ asociado a cada grupo de ingresos por categorías: emisiones directas o indirectas, por sector económico de producción o por necesidades y satisfactores específicos. De tal modo, se encontró que los principales impulsores de carbono del lado de la demanda en 2012 fueron: movilidad (40.5%), energía para la vivienda (26.1%) y alimentación (15.2%). La demanda de transporte privado constituye un punto clave en la generación de emisiones de CO₂, ya que, por un lado, presenta una alta intensidad de carbono del gasto y, por otro lado, el gasto en transporte privado presenta tendencias crecientes a medida que los

ingresos son mayores. Así, en 2012 cerca del 40% de las emisiones derivadas del transporte privado fueran generadas por el decil X, el cual ejerció aproximadamente el 77% de su gasto en movilidad en transporte privado; tales emisiones ascendieron a 18.7 MtCO₂, es decir, poco más del 10% de las emisiones de CO₂ totales.

A partir del análisis de los niveles de emisiones y la estructura de éstas por niveles de ingresos, deviene una preocupación importante sobre las posibilidades de mitigar emisiones de CO₂. Ante incrementos en los niveles de ingreso de los hogares, se esperaría un crecimiento de su demanda y canastas de consumo con intensidades de carbono relativamente estables, lo que conduciría a mayores niveles de emisiones. De hecho, al estimar las elasticidades ingreso-emisiones de CO₂ y gasto-emisiones de CO₂ por hogar para toda la distribución se obtuvieron valores de 0.82 y 0.97, respectivamente.

Por otro lado, con el análisis descendente, basado en la metodología de Chancel y Piketty (2015), se estudió la demanda de los hogares y las emisiones de CO₂ en México para un periodo de 24 años de manera bienal a través de un modelo de elasticidad gasto-emisiones de CO₂. Un insumo importante para la aplicación de esta metodología fue el valor de la elasticidad gasto-emisiones de CO₂ estimado con el análisis ascendente inicialmente desarrollado (0.97), ya que para el caso de México no hay estimaciones previas sobre tal dato.

De acuerdo con los cálculos obtenidos con el modelo de elasticidad implementado, entre 1990 y 2014, las emisiones de CO₂ de los hogares con ingresos altos fueron considerablemente mayores que las de los hogares con ingresos bajos, tanto en términos absolutos como por hogar y per cápita: los hogares del decil X emitieron 109.2 MtCO₂ promedio anual, mientras que los hogares del decil I emitieron 7.8 MtCO₂ promedio anual (34.5 y 2.4% de las emisiones de CO₂ totales, respectivamente); el promedio de emisiones de CO₂ por hogar del decil X fue de 45.2 tCO₂ y el promedio del decil I de 3.1 tCO₂; un individuo del decil X emitió alrededor de 10.6 tCO₂, mientras que un individuo del decil I generó en promedio 0.9 tCO₂.

Durante el periodo de estudio, las emisiones de CO₂ en todos los deciles de ingresos se mostraron al alza, lo que condujo a un crecimiento aproximado de 67% en el conjunto de emisiones de CO₂ asociadas con el gasto de los hogares, con lo que en 2014 llegaron a 396.3 MtCO₂. A pesar de que las tasas de crecimiento de las emisiones de CO₂ de los hogares con ingresos bajos fueron mayores que las de los hogares con ingresos altos (7.2 y 4.3% bienal promedio, respectivamente), al final del periodo las emisiones de los segundos continuaron muy por arriba de las emisiones de los primeros; e incluso se observó un incremento en la brecha de emisiones de CO₂ entre los deciles I y X entre 1990 y 2014. No obstante, se observaron también otros cambios en la distribución de las emisiones de CO₂ entre los deciles de hogares, lo cual en años recientes llevo a variaciones a la baja en el índice de Gini del carbono: en 1990 ascendió a 0.42, en el año 2000 alcanzó su punto más alto (0.47) y entre 2008 y 2014 se mantuvo en un nivel más bajo (0.38), mostrando así una menor inequidad de CO₂.

La ventaja más significativa del análisis descendente aquí aplicado es que permite aproximar la responsabilidad histórica de las emisiones de CO₂ entre hogares por niveles de ingresos para un periodo relativamente amplio, aunque no proporciona información desagregada sobre la integración de las emisiones.

Al contrastar los análisis ascendente y descendente para el año 2012 se encontró que, dadas las limitaciones de las metodologías y las fuentes de información utilizadas, sus resultados no son estrictamente comparables. Por una parte, el análisis descendente apunta a un nivel de desigualdad de emisiones ligeramente mayor que el encontrado con el análisis ascendente (índices de Gini de 0.38 y 0.36, respectivamente), debido a que el primero no reconoce las diferencias en la intensidad de carbono del gasto entre deciles de hogares. Por otra parte, un mayor contraste se observa en las estimaciones del nivel de emisiones de CO₂ entre ambas metodologías, donde el enfoque ascendente subestima las emisiones de los hogares. Mientras que con el análisis descendente se estimaron 395.7 MtCO₂ asociadas al gasto de los hogares, con el análisis ascendente tal estimación fue de 186.1 MtCO₂. Esta amplia diferencia se explica por el sub-reporte del gasto en la ENIGH y su desajuste con las Cuentas Nacionales, una problemática de larga data sobre la que hasta ahora no existe

consenso para su corrección. De modo que, el ajuste de los gastos de la ENIGH para reestimar las emisiones de CO₂ con el enfoque ascendente demanda un trabajo detallado que escapa a los objetivos y alcances de esta investigación.

En ambas metodologías, debido al sub-reporte del gasto en la ENIGH, que afecta principalmente a los deciles de hogares con ingresos más altos, se considera altamente probable que se haya incurrido en una subestimación de emisiones de CO₂ en tales deciles, es decir, que la desigualdad de las emisiones podría ser más pronunciada. Por ahora, las limitaciones observadas son señaladas con el ánimo de contribuir a una correcta interpretación de los resultados; así también para que éstas puedan ser retomadas en investigaciones futuras para mejorar las estimaciones aquí realizadas.

Finalmente, cabe señalar que, a pesar de las diversas áreas de oportunidad identificadas en las dos metodologías cuantitativas aplicadas al caso de México, los análisis aquí desarrollados representan una importante contribución para analizar formalmente el papel de la demanda y la desigualdad en el cambio climático en el país, lo cual hasta ahora no se ha estudiado de forma íntegra. Los resultados de ambos análisis permiten focalizar los grupos de ingresos asociados a mayores emisiones de CO₂ (hogares con ingresos altos); los resultados del análisis ascendente identifican, además, los sectores productivos y los satisfactores de demanda específicos asociados con la emisión de CO₂ por niveles de ingreso; mientras que los resultados del análisis descendente aproximan la responsabilidad histórica de las emisiones de CO₂ por grupos de ingresos. En conjunto, estos análisis abren opciones para el diseño de estrategias y políticas de mitigación de CO₂ centradas en la demanda, las cuales hasta ahora no se han desarrollado en México y representan un importante potencial de mitigación de CO₂.

CONCLUSIONES FINALES

Las preocupaciones en torno a los impactos y riesgos del cambio climático, así como la complejidad de este fenómeno, demandan la búsqueda constante de alternativas para mitigarlo. Si bien tanto en los ámbitos nacionales como a nivel internacional se han desarrollado e implementado diversas estrategias para frenar el ascenso de la generación de emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente de CO₂, hasta ahora la trayectoria de dichas emisiones no presenta un punto de inflexión que apunte claramente a la baja.

En este contexto, en esta investigación se hizo un análisis desde el campo de la ciencia económica sobre la forma en que se ha estudiado el cambio climático, ya que ésta se ha consolidado como una base importante para el diseño de las estrategias de mitigación. A partir de este análisis se identificó que el estudio del cambio climático se ha centrado primordialmente del lado de la oferta, por lo que las estrategias y políticas de mitigación se implementan principalmente desde los sistemas de producción. Al dejar fuera a la demanda, se ha pasado por alto su influencia en la generación de emisiones de CO₂, así como su potencial para mitigarlas.

El enfoque convencional predominante para estudiar el cambio climático es una especie de *mainstream* económico ampliado (basado en la teoría económica neoclásica, pero que reconoce fallas de mercado y legitima la intervención del Estado e incluso de la comunidad internacional), que en conjunto con elementos de otros campos, como las ciencias naturales y la ingeniería, orienta el análisis de las causas de las emisiones de CO₂ y las opciones de mitigación al ámbito de la oferta. De tal forma, la injerencia de la demanda en el problema climático ha sido prácticamente invisibilizada, salvo cuando se trata el consumo de energía directa, donde el consumidor juega un papel parcialmente activo para reducir la generación de emisiones de CO₂.

En relación a este vacío, algunas perspectivas alternativas han incorporado el análisis de la demanda final como posible *driver* de las emisiones de CO₂. Por un lado, para el análisis a nivel internacional surgieron los inventarios de emisiones basados en consumo, que a diferencia de los inventarios territoriales comúnmente utilizados, atribuyen las

emisiones al consumidor final y no al productor. Este tipo de inventarios resalta que algunos países que usualmente son considerados como altos emisores de CO₂ generan buena parte de sus emisiones para producir bienes de exportación, es decir, que exportan emisiones incorporadas en los flujos de comercio internacional para satisfacer las necesidades de consumo de otros países, principalmente desarrollados. En contraparte, algunos países que usualmente son reconocidos por mitigar exitosamente emisiones de CO₂ son importadores de emisiones vía comercio internacional; así, aunque la generación de emisiones para la producción de los bienes de consumo importados no se da al interior de sus territorios, tal generación ocurre en otros países, lo que resulta igualmente pernicioso para el cambio climático, un fenómeno global. Estas conclusiones han reforzado el planteamiento de la existencia de una fuga de carbono, la cual inicialmente fue asociada con el traslado de actividades productivas intensivas en carbono a países con normatividad ambiental relativamente laxa. A partir de los hallazgos de los inventarios basados en consumo, se ha identificado una fuga adicional: las emisiones de CO₂ incorporadas en las importaciones.

Por otro lado, para el análisis a nivel nacional, diversos estudios han enfatizado la heterogeneidad de la demanda final debido, entre otras cosas, a los diversos niveles de ingresos de los hogares o individuos. Así, la desigualdad económica se ha incorporado como un factor más a analizar dentro del estudio del cambio climático. Esta literatura precisa que las emisiones de CO₂ asociadas a la demanda final pueden ser tanto emisiones directas (derivadas del consumo directo de energía) como emisiones indirectas (incorporadas en los bienes y servicios). A partir de ello, lo que se ha encontrado es que hay una relación directa entre el nivel de ingreso y las emisiones de CO₂, ya que la cantidad de bienes y servicios demandados por los estratos económicos más altos es considerablemente superior que la demanda de estratos medios o bajos. Esta relación ha sido corroborada, a pesar de que la canasta de consumo de los estratos económicos más altos es generalmente menos intensiva en carbono. De hecho, algunas investigaciones han estimado que el valor de la elasticidad de las emisiones de CO₂ con respecto al ingreso o al gasto es regularmente cercano a 1.

En el caso de México, país en el que se centra esta investigación, las estrategias y políticas de mitigación del cambio climático han seguido el enfoque convencional ya señalado y, desde un amplio y dinámico marco legislativo, han impulsado, principalmente, dos políticas de mitigación: la generación eléctrica limpia y la eficiencia energética. A pesar de que estas estrategias han evitado la emisión de miles de toneladas de CO₂, la trayectoria de estas emisiones continúa al alza: las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles en México crecieron aproximadamente 58% entre 1990 y 2015.

De tal suerte, es claro que las estrategias de mitigación en el país requieren impulsos adicionales, por lo que en este trabajo se analizó el problema de la emisión de CO₂ vinculado con la demanda de los hogares, con la intención de ubicar actores y actividades potenciales en la mitigación de emisiones de CO₂ desde el lado de la demanda, un tema que hasta ahora no se había analizado para el caso de México. Concretamente, se estudió la relación entre la demanda de los hogares por niveles de ingreso y las emisiones de CO₂ mediante la aplicación de dos metodologías cuantitativas: 1) un análisis ascendente para el año 2012 que sigue la metodología de Golley y Meng (2012); 2) un análisis descendente para el periodo 1990-2014 que sigue la metodología de Chancel y Piketty (2015).

Los resultados de ambas metodologías apuntan a una relación directa entre el nivel de ingresos de los hogares y el nivel de emisiones de CO₂, derivada de los patrones de gasto de los hogares. Los hogares con mayores ingresos generan más emisiones de CO₂ que los hogares con menores ingresos, tanto en términos absolutos como por hogar y per cápita.

Con el análisis ascendente, además de identificar tal relación, se encontró que la intensidad de carbono del gasto dibuja una suave y ancha U invertida a lo largo de la curva de ingresos, donde la menor intensidad la presenta el gasto de los hogares del decil X. A pesar de ello, fue precisamente el decil X el que generó mayores emisiones, lo que revela que no solo la estructura del gasto es determinante en el nivel de emisiones, sino también la cantidad. Respecto a la estructura de las emisiones, se encontró que los principales impulsores de carbono del lado de la demanda en 2012 fueron: movilidad (40.5%), energía para la vivienda (26.1%) y alimentación (15.2%). En torno a la movilidad, la demanda de transporte privado constituye un punto clave, ya que, por un lado, presenta una alta

intensidad de carbono del gasto y, por otro lado, el gasto en transporte privado presenta tendencias crecientes a medida que los ingresos son mayores. A partir de estas observaciones devienen preocupaciones importantes sobre las posibilidades de mitigar emisiones de CO₂. Ante incrementos en los niveles de ingreso de los hogares, se esperaría un crecimiento de su demanda y canastas de consumo con intensidades de carbono relativamente estables, lo que conduciría a mayores niveles de emisiones. De hecho, al estimar la elasticidad gasto-emisiones de CO₂ por hogar para toda la distribución se obtuvo un valor de 0.97.

Con el análisis descendente, además de confirmar la relación directa ingreso-emisiones de CO₂, se encontró que a lo largo de todo el periodo de estudio (1990-2014) las emisiones de CO₂ crecieron en todos los deciles de hogares, con tasas más altas en los hogares con menores ingresos. No obstante lo anterior, la brecha entre el nivel de emisiones de CO₂ de hogares ricos y el nivel de emisiones de hogares pobres se mantuvo alta, incluso creció ligeramente. A pesar de este fenómeno, los índices de Gini del carbono bajaron en los últimos años debido a cambios en el nivel de emisiones en otros grupos de ingresos.

Mediante la aplicación de las metodologías ascendente y descendente y la comparación entre sus resultados, se ubicaron con claridad diversas áreas de oportunidad para mejorar las estimaciones. En este sentido, una de las problemáticas más importantes es el sub-reporte del gasto en la ENIGH y su desajuste con las Cuentas Nacionales, que derivó en una subestimación de las emisiones de CO₂ totales con el enfoque ascendente y, muy probablemente, en una subestimación de las emisiones de CO₂ de los deciles con mayores ingresos, tanto con el enfoque ascendente como con el descendente. Por ahora, dados los alcances de este trabajo, este inconveniente es simplemente señalado con el fin de que sea tomado en consideración para la interpretación de cualquier lectura de los resultados y que, además, pueda ser trabajado en futuras investigaciones. A pesar de las diversas limitantes encontradas en los análisis empíricos aquí desarrollados, éstos representan una importante contribución para analizar formalmente el papel de la demanda y la desigualdad en el cambio climático para el caso de México.

En suma, los análisis teórico y empírico realizados muestran que efectivamente hay una relación entre la demanda de los hogares mexicanos y las emisiones de CO₂, donde los niveles de ingresos desempeñan un papel importante. Los roles de ricos y pobres (vía demanda) en el problema climático no son homogéneos, y a pesar de que los primeros presentan canastas de consumo menos intensivas en carbono, sus emisiones son considerablemente mayores que las de otros estratos económicos debido a la cantidad de bienes y servicios demandados. En consecuencia, la trayectoria de las emisiones no solo depende de la estructura de las canastas de consumo que determina la intensidad de carbono del gasto, sino también del monto del gasto ejercido.

Si bien por un lado es necesario ampliar los alcances de las estrategias de mitigación actuales que conduzcan a una menor intensidad de carbono del gasto (provisión de energía eléctrica más limpia, gasolinas que cumplan normas ambientales más estrictas, equipamiento energéticamente más eficiente, etc.); por otro lado es también necesario ampliar la comprensión de que la generación de emisiones no solo está dada por el consumo energético, sino también por el gasto en cualquier bien o servicio, y por lo tanto moderar el gasto excesivo de la sociedad de consumo constituye un mecanismo para mitigar emisiones de CO₂.

No obstante que algunos esfuerzos de investigación han entrado ya en este terreno, la mayor parte del estudio del cambio climático continúa centrado en el lado de la oferta y las estrategias de mitigación del lado de la demanda están apenas en fase inicial de discusión. En este escenario, las sencillas contribuciones realizadas en esta tesis pretenden abrir una línea de investigación que reconsidere el efecto de los patrones de gasto y la desigualdad económica sobre el cambio climático y las responsabilidades de mitigación en países en desarrollo como México, donde pocas veces se considera oportuno plantear la posibilidad de moderar el consumo, pero que, sin embargo, puede resultar viable si se toma en cuenta la heterogeneidad del mismo. Una comprensión más amplia del papel de la demanda en la generación de emisiones puede proporcionar elementos adicionales a las estrategias de mitigación actuales que permitan ampliar su alcance.

ANEXO A. INTEGRACIÓN DEL INGRESO Y EL GASTO

De acuerdo a la información que recoge la ENIGH, los cuadros A1 y A2 detallan la integración del Ingreso Total y el Gasto Total¹³³.

Cuadro A-1. Integración del Ingreso Total

Ingreso total	Ingreso corriente	Ingreso corriente monetario	Ingreso por trabajo	Sueldos	
				Horas extras	
				Comisiones y propinas	
				Otras remuneraciones	
			Ingresos independiente	Negocios no agropecuarios	Negocios industriales
					Negocios comerciales
					Negocios de servicios
				Negocios agropecuarios	Negocios agrícolas
					Negocios pecuarios
					Negocios de recolección
		Negocios de pesca			
		Otros ingresos por trabajo			
		Renta de la propiedad	Ingresos de sociedades		
			Arrendamiento		
		Transferencias	Jubilaciones		
			Becas		
	Donativos				
	Remesas				
	Beneficios gubernamentales				
	Otros ingresos corrientes				
Gasto corriente no monetario	Autoconsumo				
	Remuneraciones en especie				
	Transferencias en especie	Transferencias de hogares			
		Transferencias de instituciones			
	Estimación del alquiler				
Percepciones totales	Percepciones monetarias	Retiro de inversiones			
		Préstamos			
		Otras percepciones			
	Erogaciones no monetarias				

¹³³ La clasificación puede variar entre la ENIGH de un año y otra. La clasificación aquí reportada corresponde a la ENIGH del año 2012 (INEGI, 2013).

Cuadro A-2. Integración del Gasto Total

Gasto total	Gasto corriente total	Gasto corriente monetario	Alimentos	Alimentos dentro del hogar	Cereales	Carnes	Pescados y mariscos	Leche y derivados	Huevo	Aceites y grasas	Tubérculos	Verduras	Frutas	Azúcar y mieles	Café, té y chocolate	Especias y aderezos	Otros alimentos diversos	Bebidas
					Alimentos fuera del hogar		Tabaco											
					Vestido y calzado	Vestido	Calzado y su reparación											
						Vivienda	Alquileres brutos	Predial y cuotas	Agua	Electricidad y combustibles								
					Limpieza		Cuidados de la casa	Utensilios domésticos	Enseres domésticos									
							Cuidados de la salud	Atención primaria o ambulatoria	Atención hospitalaria	Medicamentos sin receta								
								Transporte y Comunicaciones	Transporte público	Transporte foráneo	Adquisición de vehículos	Mantenimiento de vehículos	Refacciones para vehículos	Combustibles para vehículos				
					Comunicaciones													
					Educación y esparcimiento	Educación	Esparcimiento		Paquetes turísticos									
						Personales	Cuidados personales		Accesorios personales	Otros gastos diversos								
							Transferencias de gasto											
					Gasto corriente no monetario		Autoconsumo	Remuneraciones en especie	Trasferencias en especie	Transferencias de hogares	Transferencias de instituciones							
						Estimación del alquiler												
						Erogaciones monetarias	Cuota por vivienda	Servicios y materiales	Materiales	Servicios de reparación								
			Depósito de ahorro	Préstamos a terceros			Pago por tarjeta de crédito	Pago de deudas	Pérdidas del negocio	Otras erogaciones								
			Erogaciones no monetarias															

ANEXO B. CATÁLOGO DE GASTOS Y EROGACIONES, ENIGH

Clave Descripción del gasto o erogación

A001	Maíz en grano
A002	Harina de maíz
A003	Masa de maíz
A004	Tortilla de maíz
A005	Tostadas
A006	Otros productos de maíz
A007	Harina de trigo
A008	Tortilla de harina
A009	Pasta para sopa
A010	Galletas dulces
A011	Galletas saladas
A012	Pan blanco: bolillo, telera, baguete, etcétera
A013	Pan dulce en piezas
A014	Pan dulce empaquetado
A015	Pan para sándwich, hamburguesa, hot-dog y tostado
A016	Pasteles y pastelillos en piezas o a granel
A017	Pasteles y pastelillos empaquetados
A018	Otros productos de trigo
A019	Arroz en grano
A020	Otros productos de arroz
A021	Cereal de maíz, de trigo, de arroz, de avena, de granola, etcétera
A022	Botanas: frituras, palomitas, cheetos, doritos etcétera (excepto papas)
A023	Sopas instantáneas
A024	Otros cereales
A025	Bistec de res (de cualquier parte que se saque)
A026	Arrachera, filete
A027	Milanesa de res
A028	Chamorro de res
A029	Chuleta de costilla de res
A030	Agujas, aldilla, chambarete, diezmillo, espinazo, fajilla de res para asar, retazo, tampiqueña
A031	Cocido de res
A032	Cortes especiales de res
A033	Hamburguesas de res para asar
A034	Molida de res
A035	Pulpa de res en trozo
A036	Carne de otras partes de la res
A037	Vísceras de res
A038	Bistec de puerco (de cualquier parte que se saque)

- A039 Pierna de puerco en trozo
- A040 Pulpa de puerco en trozo
- A041 Molida de puerco
- A042 Costilla y chuleta de puerco
- A043 Espaldilla de puerco
- A044 Codillo de puerco
- A045 Carne de otras partes del puerco
- A046 Vísceras de puerco
- A047 Carne enchilada
- A048 Chicharrón de puerco
- A049 Chorizo con cualquier condimento y color y longaniza
- A050 Chuleta ahumada de puerco
- A051 Machaca y carne seca
- A052 Jamón de puerco
- A053 Mortadela, queso de puerco y salami, bolonia de carnes surtidas
- A054 Lardo procesado (tocino)
- A055 Salchichas y salchichón
- A056 Otras carnes procesadas
- A057 Pierna, muslo o pechuga de pollo con hueso
- A058 Pierna, muslo o pechuga de pollo sin hueso
- A059 Pollo entero o en piezas excepto, pierna, muslo y pechuga
- A060 Vísceras y otras partes del pollo
- A061 Otras aves
- A062 Chorizo de pollo, jamón y nugget, salchicha, mortadela, etcétera
- A063 Borrego: carnero y borrego
- A064 Chivo y cabrito
- A065 Otras carnes: caballo, conejo, iguana, jabalí, rana, tortuga, venado
- A066 Pescado entero limpio y sin limpiar
- A067 Filete de pescado
- A068 Atún enlatado
- A069 Salmón y bacalao procesado
- A070 Pescado ahumado, seco, nugget, sardina, etcétera
- A071 Anguilas, angulas, hueva de pescado, mantarraya, pejelagarto, etcétera
- A072 Camarón fresco
- A073 Mariscos frescos
- A074 Mariscos procesados
- A075 Leche pasteurizada de vaca
- A076 Leche condensada
- A077 Leche evaporada
- A078 Leche en polvo entera o descremada
- A079 Leche modificada o maternizada
- A080 Leche no pasteurizada (leche bronca)

- A081 Otras leches: de burra, de cabra, de soya
- A082 Queso amarillo en rebanadas o para untar
- A083 Queso añejo y cotija
- A084 Queso chihuahua
- A085 Queso fresco
- A086 Queso manchego
- A087 Queso oaxaca o asadero
- A088 Otros quesos
- A089 Crema
- A090 Mantequilla
- A091 Bebidas fermentadas de leche
- A092 Otros derivados de la leche
- A093 Huevo de gallina blanco y rojo
- A094 Otros huevos: codorniz, pata, pava etcétera
- A095 Aceite vegetal: canola, cártamo, girasol, maíz, etcétera
- A096 Aceite de coco, oliva, soya
- A097 Margarina
- A098 Manteca de puerco
- A099 Manteca vegetal
- A100 Otros aceites: de bacalao, de tiburón, de tortuga, enjundia
- A101 Betabel y camote
- A102 Papa
- A103 Rábano
- A104 Otros tubérculos
- A105 Harina para puré de papa
- A106 Papas fritas en bolsa o a granel
- A107 Acelgas, espinacas y verdolagas
- A108 Aguacate
- A109 Ajo
- A110 Brócoli
- A111 Calabacita y calabaza
- A112 Cebolla
- A113 Chayote
- A114 Chicharo
- A115 Chile jalapeño
- A116 Chile poblano
- A117 Chile serrano
- A118 Otros chiles
- A119 Cilantro
- A120 Col y repollo
- A121 Ejote
- A122 Elote

- A123 Epazote
- A124 Jitomate
- A125 Lechuga
- A126 Nopal
- A127 Pepino
- A128 Perejil y yerbabuena
- A129 Tomate verde
- A130 Zanahoria
- A131 Otras verduras
- A132 Germinados de maíz, de soya, de trigo
- A133 Chiles envasados
- A134 Chile secos o en polvo
- A135 Verduras y legumbres envasadas
- A136 Verduras y legumbres congeladas
- A137 Frijol en grano
- A138 Garbanzo en grano
- A139 Haba amarilla o verde en grano
- A140 Lenteja en grano
- A141 Otras leguminosas en grano
- A142 Frijol procesado
- A143 Otras leguminosas procesadas
- A144 Semillas a granel
- A145 Semillas envasadas
- A146 Semillas procesadas
- A147 Anona, chirimoya, guanábana
- A148 Cereza, frambuesa, fresa, zarzamora
- A149 Chabacano, durazno, melocotón
- A150 Chicozapote y mamey
- A151 Ciruela y jobo
- A152 Guayaba
- A153 Lima
- A154 Limón
- A155 Mandarina, nectarina, tangerina
- A156 Toronja
- A157 Mango
- A158 Manzana y perón
- A159 Melón
- A160 Naranja
- A161 Papaya
- A162 Pera
- A163 Piña
- A164 Pitahaya y tuna

- A165 Plátano macho y de castilla
- A166 Plátano verde y tabasco
- A167 Otros plátanos (chiapas, dominico, guineo, manzano, dorado, portalmón y roatan)
- A168 Sandía
- A169 Uva
- A170 Otras frutas: garambullo, granada, higo, jícama, kiwi, etcétera
- A171 Frutas en almíbar y conserva
- A172 Frutas cristalizadas, enchiladas y secas
- A173 Azúcar blanca y morena
- A174 Miel de abeja
- A175 Otras azúcares y mieles
- A176 Café tostado en grano molido
- A177 Café tostado soluble
- A178 Flor y hojas para té
- A179 Té soluble (cualquier sabor)
- A180 Chocolate en tableta
- A181 Chocolate en polvo
- A182 Otros chocolates
- A183 Canela
- A184 Clavo
- A185 Yerbas de olor
- A186 Concentrados de pollo y tomate
- A187 Mayonesa
- A188 Mole en pasta o en polvo
- A189 Mostaza
- A190 Pimienta
- A191 Sal
- A192 Salsas dulces y picantes
- A193 Vinagre
- A194 Otros aderezos, especias y salsas
- A195 Cereal de arroz, avena, plátano, manzana, mixto para bebé
- A196 Papillas para bebé
- A197 Jugos de frutas y verduras de cualquier combinación para bebé
- A198 Pizzas preparadas
- A199 Carnitas
- A200 Pollo rostizado
- A201 Barbacoa y birria
- A202 Otros alimentos preparados: atole, flautas, guisados, hot-dog, emparedados, sopas, tacos, tamales, tortas, sopes, menudo, pozole, arroz con leche, etc.
- A203 Hongos frescos: champiñones, huitlacoche y setas
- A204 Insectos: chapulines, chinicuales, escamoles, gusanos de maguey, hormigas (chicatana), jumiles

- A205 Flanes, gelatinas y pudines en polvo
- A206 Cajetas, dulces de leche, jamoncillos y natillas
- A207 Ates, crema de cacahuete, jaleas, mermelada
- A208 Helados, nieves y paletas de hielo
- A209 Otras golosinas
- A210 Molienda de nixtamal
- A211 Otros gastos relacionados con la preparación de alimentos
- A212 Alimentos y/o bebidas en paquete
- A213 Alimento para animales domésticos
- A214 Alimento para animales para uso del hogar
- A215 Agua natural embotellada
- A216 Agua mineral, quina, desmineralizada con o sin sabor
- A217 Agua preparada y jugos naturales
- A218 Jugos y néctares envasados
- A219 Concentrados y polvos para preparar bebidas
- A220 Refrescos de cola y de sabores
- A221 Bebida energética
- A222 Bebidas fermentadas de maíz, hielo, jarabe natural, lechuguilla, sangrita, tascalate, tepache y tuba
- A223 Coñac y brandy
- A224 Cerveza
- A225 Anís (licor)
- A226 Jerez
- A227 Licor o cremas de frutas
- A228 Aguamiel, pulque, tlachique
- A229 Aguardiente, alcohol de caña, charanda, mezcal
- A230 Ron añejo, blanco, con limón
- A231 Rompope
- A232 Sidra blanca y rosada
- A233 Tequila añejo, azul y blanco
- A234 Vino de mesa blanco, rosado, tinto
- A235 Vodka
- A236 Whisky
- A237 Bebida alcohólica preparada
- A238 Otras bebidas alcohólicas: champaña
- A239 Cigarros
- A240 Puros
- A241 Tabaco en hoja y picado
- A242 Despensa de alimentos que otorgan organizaciones privadas o de gobierno
- A243 Desayuno (fuera del hogar)
- A244 Comida (fuera del hogar)
- A245 Cena (fuera del hogar)

A246 Entrecomidas (fuera del hogar)
A247 Otros eventos fuera de casa
B001 Metro o tren ligero
B002 Autobús
B003 Trolebús o metrobús
B004 Colectivo, combi o microbús
B005 Taxi, radio-taxi (sitio)
B006 Autobús foráneo
B007 Otros transportes: lancha, panga o peaje
C001 Detergentes (polvo, líquido, pasta, gel)
C002 Jabón de barra
C003 Blanqueadores
C004 Suavizantes de telas
C005 Limpiadores (en polvo o líquido)
C006 Servilletas y papel absorbente
C007 Platos y vasos desechables, papel aluminio y encerado
C008 Escobas, trapeadores, recogedor
C009 Fibras, estropajos, escobetas, pinzas para ropa, lazos
C010 Jergas y trapos de cocina
C011 Cerillos
C012 Pilas
C013 Focos
C014 Cera y limpia muebles
C015 Insecticidas líquido, en polvo, pastilla, raid eléctrico
C016 Desodorante ambiental y sanitario
C017 Recipientes de lámina (cubetas, tinas, etcétera)
C018 Recipientes de plástico (cubetas, tinas, mangueras, etcétera)
C019 Otros artículos
C020 Servicio doméstico
C021 Lavandería
C022 Tintorería
C023 Jardinería
C024 Otros servicios: fumigación, etcétera
D001 Jabón de tocador
D002 Lociones y perfumes
D003 Pasta dental y enjuague bucal
D004 Hilo y cepillo dental
D005 Champús, enjuagues, tratamiento para el cabello
D006 Tintes y líquidos para permanente
D007 Desodorante y talco
D008 Bronceadores y bloqueadores
D009 Crema para el cuerpo, para la cara y tratamiento facial

- D010 Gel, spray, mousse para el cabello
- D011 Crema para afeitar y rastrillos
- D012 Cosméticos, polvo y maquillaje sombra, lápiz labial, delineador de ojos, etcétera
- D013 Esmalte para uñas
- D014 Papel sanitario, pañuelos desechables
- D015 Toallas sanitarias
- D016 Pañales desechables
- D017 Artículos de tocador para bebé
- D018 Cepillos y peines
- D019 Artículos eléctricos: rasuradora, secadora, etcétera
- D020 Reparación y/o mantenimiento de los artículos anteriores
- D021 Otros: donas y mariposas para el cabello, limas de uñas, pasadores, etcétera
- D022 Corte de cabello y peinado
- D023 Baños y masajes
- D024 Permanentes y tintes
- D025 Manicure
- D026 Otros servicios: rasurar, depilar, etcétera
- E001 Preescolar
- E002 Primaria
- E003 Secundaria
- E004 Preparatoria o bachillerato
- E005 Profesional
- E006 Maestría y doctorado
- E007 Educación Técnica
- E008 Estancias infantiles (excepto preprimaria)
- E009 Enseñanza adicional
- E010 Educación especial para discapacitados
- E011 Internados
- E012 Cuidado de niños (persona particular)
- E013 Transporte escolar
- E014 Libros para la escuela
- E015 Gastos recurrentes en educación, como: credenciales, seguro médico, seguro de vida, cuotas a padres de familia
- E016 Pago de imprevistos como: derecho a examen, examen extraordinario, cursos de regularización, etcétera
- E017 Equipo escolar: máquinas de escribir, calculadora, etcétera
- E018 Gastos recurrentes en educación técnica: credenciales, seguro médico, seguro de vida, cuotas a padres de familia
- E019 Pago de imprevistos para educación técnica, como: derecho a examen, cursos de regularización, etcétera
- E020 Material para la educación adicional
- E021 Reparación y/o mantenimiento de equipo escolar
- E022 Enciclopedia y libros (excluya los de la escuela)

- E023 Periódicos
- E024 Revistas
- E025 Audiocasetes, discos y discos compactos
- E026 Otros artículos de cultura y recreación
- E027 Cines
- E028 Teatros y conciertos
- E029 Centros nocturnos (incluye alimentos, bebidas, tabaco, entrada, propinas, etcétera)
- E030 Espectáculos deportivos
- E031 Lotería y juegos de azar
- E032 Cuotas a centros sociales, asociaciones, clubes, etcétera
- E033 Renta de casetes para videojuegos, discos compactos y videocasetes
- E034 Otros gastos de recreación: museo, ferias, juegos mecánicos, balnearios, etcétera
- F001 Instalación de la línea de teléfono particular
- F002 Teléfonos celulares, pago inicial y equipo
- F003 Compra de tarjeta para servicio de teléfono celular
- F004 Teléfono público
- F005 Estampillas para correo, paquetería, telégrafo
- F006 Otros servicios: Internet público, fax público, etcétera
- F007 Gasolina Magna
- F008 Gasolina Premium
- F009 Diesel y gas
- F010 Aceites y lubricantes
- F011 Reparación de llantas
- F012 Pensión y estacionamiento
- F013 Lavado y engrasado
- F014 Otros servicios: encerado, inflado de llantas, etcétera
- G001 Cuota por la vivienda recibida como prestación en el trabajo
- G002 Cuota de la vivienda en otra situación
- G003 Cuota o pago a otro hogar
- G004 Alquiler de terrenos
- G005 Recolección de basura
- G006 Cuotas de vigilancia
- G007 Cuotas de administración
- G008 Otros servicios
- G009 Gas licuado de petróleo
- G010 Petróleo
- G011 Diesel
- G012 Carbón
- G013 Leña
- G014 Combustible para calentar
- G015 Velas y veladoras
- G016 Otros combustibles: cartón, papel, etcétera

- G101 Renta o alquiler de la vivienda
- G102 Estimación del alquiler de la vivienda que es prestada
- G103 Estimación del alquiler de vivienda propia y se está pagando
- G104 Estimación del alquiler de la vivienda que es propia
- G105 Estimación del alquiler de vivienda intestada o en litigio
- G106 Estimación del alquiler de la vivienda en otra situación
- R001 Energía eléctrica (último recibo pagado)
- R002 Agua (último recibo pagado)
- R003 Gas natural (último recibo pagado)
- R004 Impuesto predial (último recibo pagado)
- R005 Largas distancias de línea particular (último recibo pagado)
- R006 Llamadas locales de línea particular (último recibo pagado)
- R007 Teléfonos celulares (plan mensual) (último recibo pagado)
- R008 Internet (último recibo pagado)
- R009 Televisión de paga (último recibo pagado)
- R010 Paquete de Internet y teléfono (último recibo pagado)
- R011 Paquete de Internet, teléfono y televisión de paga (último recibo pagado)
- R012 Tenencia vehicular (último recibo pagado)
- R013 Alarmas para la casa (último recibo pagado)
- H001 Pantalones para niño de 0 a 4 años
- H002 Trajes, sacos, conjuntos, abrigos, gabardinas e impermeables para niño de 0 a 4 años
- H003 Camisas para niño de 0 a 4 años
- H004 Playeras para niño de 0 a 4 años
- H005 Camisetas para niño de 0 a 4 años
- H006 Suéteres, sudaderas y chambritas para niño de 0 a 4 años
- H007 Pants para niño de 0 a 4 años
- H008 Trusas y bóxer para niño de 0 a 4 años
- H009 Calcetines, calcetas y tines para niño de 0 a 4 años
- H010 Calzones de hule para niño de 0 a 4 años
- H011 Pañales de tela para niño de 0 a 4 años
- H012 Telas, confecciones y reparaciones para niño de 0 a 4 años
- H013 Otras prendas de vestir: baberos, delantales, fajillas, batas, pijamas, etcétera para niño de 0 a 4 años
- H014 Pantalones para niña de 0 a 4 años
- H015 Trajes, sacos, conjuntos, abrigos, gabardinas e impermeables para niña de 0 a 4 años
- H016 Vestidos y faldas para niña de 0 a 4 años
- H017 Playeras para niña de 0 a 4 años
- H018 Camisetas para niña de 0 a 4 años
- H019 Suéteres, sudaderas y chambritas para niña de 0 a 4 años
- H020 Blusas para niña de 0 a 4 años
- H021 Pants para niña de 0 a 4 años
- H022 Pantaletas para niña de 0 a 4 años

- H023 Calcetas, tobilleras y tines para niña de 0 a 4 años
- H024 Calzones de hule para niña de 0 a 4 años
- H025 Pañales de tela para niña de 0 a 4 años
- H026 Telas, confecciones y reparaciones para niña de 0 a 4 años
- H027 Otras prendas de vestir: baberos, delantales, fajillas, batas, pijamas, etcétera (para niña de 0 a 4 años
- H028 Pantalones para niño de 5 a 17 años
- H029 Camisas para niño de 5 a 17 años
- H030 Playeras para niño de 5 a 17 años
- H031 Trajes, sacos, abrigos, gabardinas e impermeables para niño de 5 a 17 años
- H032 Chamarras para niño de 5 a 17 años
- H033 Suéteres y sudaderas para niño de 5 a 17 años
- H034 Trusas y bóxer para niño de 5 a 17 años
- H035 Camisetas para niño de 5 a 17 años
- H036 Calcetines, calcetas y tines para niño de 5 a 17 años
- H037 Pants para niño de 5 a 17 años
- H038 Telas, confecciones y reparaciones para niño de 5 a 17 años
- H039 Otras prendas de vestir para hombre: corbatas, batas, pijamas, etcétera para niño de 5 a 17 años
- H040 Pantalones para niña de 5 a 17 años
- H041 Blusas para niña de 5 a 17 años
- H042 Playeras para niña de 5 a 17 años
- H043 Trajes, sacos, conjuntos, abrigos, gabardinas e impermeables para niña de 5 a 17 años
- H044 Vestidos para niña de 5 a 17 años
- H045 Faldas para niña de 5 a 17 años
- H046 Suéteres y sudaderas para niña de 5 a 17 años
- H047 Chamarras para niña de 5 a 17 años
- H048 Calcetas, tobilleras, tines y mallas para niña de 5 a 17 años
- H049 Pantaletas y fajas para niña de 5 a 17 años
- H050 Brassieres para niña de 5 a 17 años
- H051 Fondos y corpiños para niña de 5 a 17 años
- H052 Medias, pantimedias y tobimedias para niña de 5 a 17 años
- H053 Pants para niña de 5 a 17 años
- H054 Telas, confecciones y reparaciones para niña de 5 a 17 años
- H055 Otras prendas de vestir para mujer: rebozo, pijamas, camisones, batas, etcétera para niña de 5 a 17 años
- H056 Pantalones para hombre de 18 o más años
- H057 Camisas para hombre de 18 o más años
- H058 Playeras para hombre de 18 o más años
- H059 Trajes, sacos, conjuntos, abrigos, gabardinas e impermeables para hombre de 18 o más años
- H060 Suéteres y sudaderas para hombre de 18 o más años
- H061 Chamarras para hombre de 18 o más años

- H062 Trusas y bóxer para hombre de 18 o más años
- H063 Camisetas para hombre de 18 o más años
- H064 Calcetines, calcetas y tines para hombre de 18 o más años
- H065 Pants para hombre de 18 o más años
- H066 Telas, confecciones y reparaciones para hombre de 18 o más años
- H067 Otras prendas de vestir para hombre: corbatas, batas, pijamas, etcétera para hombre de 18 o más años
- H068 Pantalones para mujer de 18 o más años
- H069 Blusas para mujer de 18 o más años
- H070 Playeras para mujer de 18 o más años
- H071 Trajes, sacos, conjuntos, abrigos, gabardinas e impermeables para mujer de 18 o más años
- H072 Vestidos para mujer de 18 o más años
- H073 Faldas para mujer de 18 o más años
- H074 Suéteres y sudaderas para mujer de 18 o más años
- H075 Chamarras para mujer de 18 o más años
- H076 Calcetas, tobilleras, tines y mallas para mujer de 18 o más años
- H077 Pantaletas y fajas para mujer de 18 o más años
- H078 Brassieres para mujer de 18 o más años
- H079 Fondos y corpiños para mujer de 18 o más años
- H080 Medias, pantimedias y tobimedias para mujer de 18 o más años
- H081 Pants para mujer de 18 o más años
- H082 Telas, confecciones y reparaciones para mujer de 18 o más años
- H083 Otras prendas de vestir para mujer: rebozos, pijamas, camisonos, batas, etcétera para mujer de 18 o más años
- H084 Zapatos para niño de 0 a 4 años
- H085 Botas para niño de 0 a 4 años
- H086 Tenis para niño de 0 a 4 años
- H087 Huaraches para niño de 0 a 4 años
- H088 Sandalias para baño o descanso para niño de 0 a 4 años
- H089 Pantuflas para niño de 0 a 4 años
- H090 Zapatos y sandalias para vestir para niña de 0 a 4 años
- H091 Botas para niña de 0 a 4 años
- H092 Tenis para niña de 0 a 4 años
- H093 Huaraches para niña de 0 a 4 años
- H094 Sandalias para baño o descanso para niña de 0 a 4 años
- H095 Pantuflas para niña de 0 a 4 años
- H096 Zapatos para niño de 5 a 17 años
- H097 Botas para niño de 5 a 17 años
- H098 Tenis para niño de 5 a 17 años
- H099 Huaraches para niño de 5 a 17 años
- H100 Sandalias para baño o descanso para niño de 5 a 17 años
- H101 Pantuflas para niño de 5 a 17 años

- H102 Zapatos y sandalias para vestir para niña de 5 a 17 años
- H103 Botas para niña de 5 a 17 años
- H104 Tenis para niña de 5 a 17 años
- H105 Huaraches para niña de 5 a 17 años
- H106 Sandalias para baño o descanso para niña de 5 a 17 años
- H107 Pantuflas para niña de 5 a 17 años
- H108 Zapatos para hombre de 18 o más años
- H109 Botas para hombre de 18 o más años
- H110 Tenis para hombre de 18 o más años
- H111 Huaraches para hombre de 18 o más años
- H112 Sandalias para baño o descanso para hombre de 18 o más años
- H113 Pantuflas para hombre de 18 o más años
- H114 Zapatos y sandalias para vestir para mujer de 18 o más años
- H115 Botas para mujer de 18 o más años
- H116 Tenis para mujer de 18 o más años
- H117 Huaraches para mujer de 18 o más años
- H118 Sandalias para baño o descanso para mujer de 18 o más años
- H119 Pantuflas para mujer de 18 o más años
- H120 Servicio de limpieza y reparación de calzado
- H121 Crema para calzado
- H122 Otros: agujetas, cepillos, etcétera
- H123 Bolsas
- H124 Cinturones, carteras y monederos
- H125 Diademas
- H126 Encendedores, cigarreras y polveras
- H127 Joyería de fantasía
- H128 Portafolios
- H129 Relojes de pulso
- H130 Sombreros, gorros y cachuchas
- H131 Otros accesorios: lentes oscuros, etcétera
- H132 Artículos y accesorios para el cuidado del bebé
- H133 Reparación y/o mantenimiento de los artículos anteriores (H123-H132)
- H134 Uniformes y prendas de vestir para actividades educativas, artísticas y deportivas
- H135 Prendas de vestir para eventos especiales derivados de la educación
- H136 Telas, confecciones y reparaciones
- I001 Vajilla completa de cristal, barro, plástico, etcétera
- I002 Piezas sueltas de vajilla de cristal, barro, plástico, etcétera
- I003 Recipientes o cajas de plástico para la cocina
- I004 Vasos, copas y jarras de cristal, plástico, cerámica, etcétera
- I005 Cubiertos
- I006 Plantas y flores artificiales, objetos de cerámica, orfebrería, porcelana, y otros artículos decorativos

- I007 Accesorios de hule y plástico: jabonera, tapetes, espejos, etc.
- I008 Reloj de pared o mesa
- I009 Batería de cocina y piezas sueltas
- I010 Olla express
- I011 Otros utensilios: tijeras, abrelatas, pinzas para hielo, etc.
- I012 Herramientas: martillo, pinzas, taladro, etcétera
- I013 Reparación y/o mantenimiento de los artículos anteriores (I001-I012)
- I014 Colchones
- I015 Colchonetas
- I016 Cobertores y cobijas
- I017 Sábanas
- I018 Fundas
- I019 Colchas, edredones
- I020 Mantel y servilletas
- I021 Toallas
- I022 Cortinas
- I023 Telas, confecciones y reparaciones de artículos anteriores
- I024 Hilos, hilazas y estambres
- I025 Agujas, cierres, botones y broches
- I026 Otros artículos: hamacas, almo-hadas, cojines, etc.
- J001 Honorarios por servicios profesionales: cirugía, anestesia, etcétera, durante el parto
- J002 Hospitalización, durante el parto
- J003 Análisis clínicos y estudios médicos: Rayos X, ultrasonido, etcétera, durante el parto
- J004 Medicamentos recetados y material de curación, durante el parto
- J005 Servicios de partera, durante el parto
- J006 Otros: servicio de ambulancia, etcétera, durante el parto
- J007 Consultas médicas, durante el embarazo
- J008 Consultas, placas, puentes dentales y otros, durante el embarazo
- J009 Medicamentos recetados, durante el embarazo
- J010 Vitaminas y complementos alimenticios, durante el embarazo
- J011 Análisis clínicos y estudios médicos: rayos X, ultrasonidos, durante el embarazo
- J012 Hospitalización durante el embarazo (no parto)
- J013 Servicios de partera, durante el embarazo
- J014 Hierbas medicinales, remedios caseros, etcétera, durante el embarazo
- J015 Otros servicios: ambulancia, aplicación de inyecciones, vacunas, etcétera, durante el embarazo
- J016 Consultas médico general
- J017 Consultas médico especialista (pediatría y ginecología, etc.)
- J018 Consultas dentales (placas dentales o prótesis dentales, etc.)
- J019 Análisis clínicos y estudios médicos: rayos X
- J020 Medicamentos recetados para: diarrea, infecciones y malestar estomacal
- J021 Medicamentos recetados para: gripe

- J022 Medicamentos recetados para: piel
- J023 Medicamentos recetados para: alergias
- J024 Medicamentos recetados para: tos
- J025 Medicamentos recetados para: infecciones de la garganta
- J026 Medicamentos recetados para: fiebre
- J027 Medicamentos recetados para: inflamación
- J028 Medicamentos recetados para: otras infecciones (antibióticos)
- J029 Medicamentos recetados para: dolor de cabeza y migraña
- J030 Medicamentos recetados para: otro tipo de dolores
- J031 Medicamentos recetados para: presión arterial
- J032 Medicamentos recetados para: diabetes
- J033 Medicamentos recetados para: vitaminas
- J034 Medicamentos recetados para: anticonceptivos
- J035 Otros medicamentos recetados
- J036 Consultas médicas para el control de peso
- J037 Medicamentos y productos para el control de peso
- J038 Tratamiento para el control de peso
- J039 Honorarios por servicios profesionales: cirujano, anestesista, etc.
- J040 Hospitalización
- J041 Análisis clínicos y estudios médicos (rayos X, electros, etc.)
- J042 Medicamentos recetados y material de curación
- J043 Otros: servicios de ambulancia, oxígeno, suero, sondas, bolsas de diálisis y de orina, cómodos, etc.
- J044 Medicamentos sin receta para: diarrea, infecciones y malestar estomacal
- J045 Medicamentos sin receta para: gripe
- J046 Medicamentos sin receta para: piel
- J047 Medicamentos sin receta para: alergias
- J048 Medicamentos sin receta para: tos
- J049 Medicamentos sin receta para: infecciones de la garganta
- J050 Medicamentos sin receta para: fiebre
- J051 Medicamentos sin receta para: inflamación
- J052 Medicamentos sin receta para: otras infecciones (antibióticos)
- J053 Medicamentos sin receta para: dolor de cabeza y migraña
- J054 Medicamentos sin receta para: otro tipo de dolores
- J055 Medicamentos sin receta para: vitaminas
- J056 Medicamentos sin receta para: presión arterial
- J057 Medicamentos sin receta para: diabetes
- J058 Medicamentos sin receta para: anticonceptivos
- J059 Otros medicamentos sin receta
- J060 Algodón, gasas, vendas, etc.
- J061 Alcohol, merthiolate, solución antiséptica, etcétera
- J062 Consultas con el curandero, huesero, quiropráctico, etcétera

- J063 Medicamento naturista, hierbas medicinales, remedios caseros
- J064 Medicamento homeopático
- J065 Anteojos y lentes de contacto
- J066 Aparatos para sordera
- J067 Aparatos ortopédicos y para terapia, silla de ruedas, andadera, muletas, etcétera
- J068 Reparación y mantenimiento de aparatos ortopédicos
- J069 Otros: pago de enfermeras y personal al cuidado de enfermos, terapias, etcétera
- J070 Cuotas a hospitales o clínicas
- J071 Cuotas a compañías de seguros
- J072 Cuotas de seguro popular
- K001 Ventilador
- K002 Aparatos telefónicos
- K003 Identificador de llamadas, fax, etc.
- K004 Aparatos de aire acondicionado para casa (incluye refrigeración o clima)
- K005 Máquina de coser y accesorios
- K006 Cocina integral
- K007 Estufa de gas
- K008 Estufa de otro combustible: electricidad, petróleo
- K009 Refrigerador
- K010 Licuadora
- K011 Batidora
- K012 Plancha
- K013 Extractor de jugos
- K014 Horno de microondas
- K015 Lavadora
- K016 Aspiradora
- K017 Calentador de gas
- K018 Calentador de otro combustible
- K019 Lámparas eléctricas (incluye candiles)
- K020 Lámparas de otro combustible
- K021 Tanque de gas e instalación
- K022 Lavadero, tinaco y bomba de agua
- K023 Compra e instalación de paneles solares y planta de luz propia
- K024 Otros aparatos: tostador, calefactor, horno eléctrico, etcétera
- K025 Reparación, y/o mantenimiento de los artículos anteriores (K001-K024)
- K026 Juego de recámara
- K027 Piezas sueltas de recámara: camas, tocadores, literas, etcétera
- K028 Juego de comedor o antecomedor
- K029 Piezas sueltas para comedor o antecomedor (mesas, sillas)
- K030 Juego de sala
- K031 Piezas sueltas para sala (mesa de centro) Muebles
- K032 Muebles para cocina (gabinete, mesa, etcétera)

- K033 Muebles para baño (taza, tina, tina de hidromasaje, etcétera)
- K034 Muebles para jardín
- K035 Alfombras y tapetes
- K036 Otros muebles: libreros, escritorio, mesa para televisión, etcétera
- K037 Reparación y/o mantenimiento de los artículos anteriores (K026-K036)
- K038 Materiales para reparación y mantenimiento (de la vivienda que habita el hogar)
- K039 Servicios de reparación y mantenimiento (de la vivienda que habita el hogar)
- K040 Materiales para ampliación y remodelación (de la vivienda que habita el hogar)
- K041 Servicios para ampliación y remodelación (de la vivienda que habita el hogar)
- K042 Materiales para reparación y mantenimiento (de la vivienda que no habita el hogar)
- K043 Servicios de reparación y mantenimiento (de la vivienda que no habita el hogar)
- K044 Materiales para ampliación, construcción y remodelación (de la vivienda que no habita el hogar)
- K045 Servicios para ampliación, construcción y remodelación (de la vivienda que no habita el hogar)
- L001 Radio y radio despertador
- L002 Estéreo y modular
- L003 Grabadora
- L004 Televisión blanco y negro (incluye portátil)
- L005 Televisión color (incluye portátil), LCD y plasma
- L006 Lector de DVD y Blu-Ray (incluye portátil)
- L007 Computadora
- L008 Accesorios para computadora (mouse, memorias usb, etc)
- L009 Decodificador de T.V., control remoto, etcétera
- L010 Accesorios: bocinas, audífonos, antena aérea, control remoto, etc.
- L011 Videocasetes, cartuchos y discos para videojuegos
- L012 Reproductor de discos compactos, MP3 y iPod (MP4)
- L013 Reproductor de discos compactos, DVD para vehículos y autoestéreo
- L014 Alquiler de televisión, videocaseteras, computadoras, etcétera
- L015 Otros aparatos: Walkman, etc.
- L016 Reparación y/o mantenimiento de los artículos anteriores (L001-L015)
- L017 Proyectores
- L018 Cámaras fotográficas y de video
- L019 Material fotográfico, películas
- L020 Servicio fotográfico, revelado e impresión
- L021 Otros artículos y servicios: tripié, alquiler de equipo, proyectores, etc.
- L022 Reparación y mantenimiento de los artículos anteriores (L017-L021)
- L023 Juguetes, juegos de mesa
- L024 Juegos electrónicos, videojuegos
- L025 Instrumentos musicales
- L026 Artículos de deporte y cacería (aparatos para ejercicio, etcétera)
- L027 Artículos de jardinería: plantas, flores, macetas, tierra, abonos

- L028 Reparación y/o mantenimiento de los artículos anteriores.
- L029 Compra y cuidado de animales domésticos: patos, perros, etcétera
- M001 Transporte foráneo
- M002 Transporte ferroviario
- M003 Transporte aéreo
- M004 Servicio de carga y mudanza
- M005 Cuotas de autopista
- M006 Otros: lancha, barco, carreta, alquiler de vehículos, etcétera
- M007 Automóvil y/o guayín (adquisición para uso particular)
- M008 Camioneta (pick up) (adquisición para uso particular)
- M009 Motoneta, motocicleta (adquisición para uso particular)
- M010 Bicicleta (adquisición para uso particular)
- M011 Otros: remolque, lancha, triciclo, etcétera (adquisición para uso particular)
- M012 Llantas
- M013 Acumulador
- M014 Refacciones: bujías, bandas, filtros, etcétera
- M015 Partes de vehículos: vidrios, salpicaderas, etcétera
- M016 Accesorios: espejos, manijas, antenas, etcétera
- M017 Servicios de afinación, alineación y balanceo
- M018 Otros servicios: ajuste de motor, de frenos, hojalatería, pintura, etcétera
- N001 Servicios profesionales de abogados, notarios, arquitectos, etcétera (no médicos)
- N002 Funerales y cementerios
- N003 Paquetes para fiesta (salón, comida, orquesta)
- N004 Gastos turísticos: paquetes, hospedajes, alimentos, tours, etcétera
- N005 Hospedaje o alojamiento sin fines turísticos (con o sin alimentos)
- N006 Gastos en cargos comunales para festividades locales
- N007 Contribuciones para obras del servicio público local
- N008 Seguro de automóvil
- N009 Seguros contra incendio, daños y riesgos para la vivienda, educación y seguro de vida (no capitalizable)
- N010 Otros gastos diversos no comprendidos en las categorías anteriores
- N011 Indemnizaciones pagadas a terceros
- N012 Pérdidas y robos en dinero (excluya negocios)
- N013 Ayuda a parientes y personas ajenas al hogar (en dinero)
- N014 Contribuciones a instituciones benéficas en dinero, iglesias, cruz roja, incluye servicios eclesiásticos
- N015 Servicios del sector público: expedición de pasaporte, actas, títulos, etcétera
- N016 Trámites para vehículos: licencias, placas, verificación vehicular, etcétera
- Q001 Depósitos en cuentas de ahorro, tandas, cajas de ahorro, etcétera
- Q002 Préstamos a personas ajenas al hogar
- Q003 Pagos a tarjeta de crédito bancaria o comercial (incluye intereses)
- Q004 Pago de deudas a la empresa donde trabajan y/o a otras personas o instituciones (excluya créditos hipotecarios)

- Q005 Pago de intereses por préstamos recibidos
- Q006 Compra de monedas nacionales o extranjeras, metales preciosos, alhajas, obras de arte, etcétera
- Q007 Seguro de vida capitalizable
- Q008 Herencias, dotes y legados
- Q009 Compra de casas, condominios, locales o terrenos que no habita el hogar
- Q010 Compra de terrenos, casas o condominios que habita el hogar
- Q011 Pago de hipotecas de bienes inmuebles: casas, locales, terrenos, edificios, etcétera
- Q012 Otras erogaciones no consideradas en las preguntas anteriores
- Q013 Compra de maquinaria, equipo, animales destinados a la reproducción, utilizados en negocios del hogar
- Q014 Balance negativo en negocios del hogar agropecuarios y no agropecuarios
- Q015 Compra de valores: cédulas, acciones y bonos
- Q016 Compra de marcas, patentes y derechos de autor
- Q100 Pago de la vivienda propia y que se está pagando
- T901 Alimentos, bebidas y tabaco (regalos a personas ajenas del hogar)
- T902 Transporte (pasajes) (regalos a personas ajenas del hogar)
- T903 Artículos o servicios destinados a la limpieza y cuidados de la casa (regalos a personas ajenas del hogar)
- T904 Artículos o servicios destinados a cuidados personales (regalos a personas ajenas del hogar)
- T905 Artículos o servicios destinados a educación, cultura y recreación (regalos a personas ajenas del hogar)
- T906 Artículos o servicios destinados a la comunicación y servicios para vehículos (regalos a personas ajenas del hogar)
- T907 Artículos o servicios destinados a vivienda y servicios de conservación (regalos a personas ajenas del hogar)
- T908 Último recibo pagado (regalos a personas ajenas del hogar)
- T909 Prendas de vestir, calzado y accesorios (regalos a personas ajenas del hogar)
- T910 Cristalería, blancos y utensilios domésticos (regalos a personas ajenas del hogar)
- T911 Artículos o servicios destinados a cuidados de la salud (regalos a personas ajenas del hogar)
- T912 Enseres domésticos y mantenimiento de la vivienda (regalos a personas ajenas del hogar)
- T913 Artículos de esparcimiento (regalos a personas ajenas del hogar)
- T914 Artículos o servicios destinados al transporte (regalos a personas ajenas del hogar)
- T915 Gastos diversos (regalos a personas ajenas del hogar)
- T916 Erogaciones financieras y de capital (regalos a personas ajenas del hogar)

Anexo C. Estimaciones de emisiones de CO₂ (metodología ascendente)

Cuadro C-1. Emisiones de CO₂ directas por energético y por decil de hogares en México, 2012 (MtCO₂)

Energético / Decil	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Total
Electricidad	0.98	1.48	1.67	1.86	2.03	2.74	2.65	3.18	4.07	4.94	25.60
Gas L.P.	0.49	0.85	1.09	1.18	1.32	1.47	1.72	1.68	2.10	2.59	14.47
Gas Natural	0.01	0.03	0.06	0.11	0.11	0.18	0.23	0.34	0.49	1.03	2.59
Queroseno	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.09
Gasolina Magna	0.27	0.51	0.74	1.17	1.49	1.98	2.88	4.40	6.26	11.14	30.85
Gasolina Premium	0.03	0.02	0.08	0.04	0.03	0.16	0.12	0.26	0.61	2.32	3.66
Diesel	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.06	0.03	0.03	0.14
Total	1.78	2.91	3.66	4.37	4.99	6.53	7.61	9.93	13.56	22.05	77.40

Elaboración propia.

Cuadro C-2. Emisiones de CO₂ indirectas por subsector económico y por decil de hogares en México, 2012 (MtCO₂)

Subsector / Decil	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Total
111	0.37	0.40	0.42	0.41	0.43	0.44	0.47	0.47	0.54	0.63	4.59
112	0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.06	0.05	0.53
113	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06
114	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.07	0.06	0.07	0.10	0.18	0.65
221	0.06	0.10	0.10	0.12	0.14	0.17	0.19	0.24	0.30	0.56	1.97
222	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.07	0.11	0.43
236	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.07	0.16	0.30
311	0.60	0.85	0.95	1.11	1.20	1.28	1.41	1.53	1.68	2.22	12.85
312	0.09	0.11	0.13	0.16	0.18	0.20	0.21	0.24	0.29	0.43	2.05
313	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
314	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.16
315	0.06	0.09	0.12	0.13	0.17	0.20	0.23	0.31	0.40	0.77	2.50
316	0.03	0.06	0.07	0.08	0.10	0.10	0.12	0.17	0.20	0.33	1.26
322	0.09	0.15	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.32	0.35	0.40	2.41
323	0.01	0.02	0.03	0.04	0.08	0.05	0.10	0.16	0.12	0.28	0.89
324	0.22	0.38	0.53	0.67	0.80	1.03	1.37	1.87	2.65	4.82	14.34
325	0.29	0.40	0.50	0.56	0.62	0.71	0.84	0.96	1.16	1.89	7.94
326	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.03	0.04	0.07	0.15	0.38
327	0.01	0.02	0.02	0.04	0.06	0.06	0.09	0.12	0.18	0.40	1.01
332	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.10
333	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.08	0.14
334	0.02	0.02	0.05	0.04	0.08	0.13	0.21	0.20	0.35	0.57	1.66
335	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.09	0.14	0.11	0.20	0.32	1.14
336	0.00	0.01	0.02	0.02	0.04	0.05	0.04	0.17	0.59	1.17	2.11
337	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.02	0.05	0.05	0.11	0.14	0.45
339	0.04	0.04	0.05	0.05	0.07	0.06	0.10	0.11	0.15	0.27	0.92
481	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.04	0.14	1.11	1.34
482	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
483	0.05	0.05	0.10	0.05	0.07	0.04	0.02	0.07	0.06	0.20	0.71
484	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.04
485	0.82	1.43	1.84	2.17	2.81	3.12	3.45	3.68	4.14	2.67	26.11
488	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03
492	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
511	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.05	0.10
512	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.04	0.06	0.08	0.15	0.38
517	0.02	0.05	0.07	0.09	0.12	0.16	0.20	0.28	0.38	0.62	2.00
522	0.01	0.03	0.04	0.05	0.07	0.11	0.17	0.24	0.46	1.82	3.00
523	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03
524	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.10	0.14
531	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.08	0.11	0.28	0.73
541	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.04
561	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.09
611	0.02	0.04	0.06	0.07	0.10	0.12	0.15	0.22	0.36	0.85	1.99
621	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.06	0.06	0.12	0.21	0.62
622	0.00	0.01	0.01	0.03	0.02	0.05	0.07	0.07	0.13	0.28	0.68
624	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.04	0.12
711	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03
713	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.11	0.24
721	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.07	0.40	0.57
722	0.22	0.32	0.36	0.48	0.55	0.67	0.77	0.96	1.27	2.10	7.70
811	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.06	0.22	0.38
812	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05	0.07	0.11	0.22	0.59
813	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.06	0.12
931	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.05	0.10
Total	3.25	4.85	5.96	7.02	8.42	9.59	11.26	13.33	17.38	27.67	108.73

Elaboración propia.

Anexo D. Estimaciones de emisiones de CO₂ (metodología descendente)

Cuadro D-1. Emisiones de CO₂ anuales por decil de hogares en México (MtCO₂)

Decil/Año	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014
I	5.4	5.0	5.4	5.4	6.0	5.7	6.6	7.8	8.8	10.7	11.1	11.7	12.0
II	8.4	8.3	8.2	8.4	9.2	9.2	10.9	11.1	13.0	15.1	14.6	16.1	16.6
III	10.6	10.6	10.7	10.5	11.9	12.0	13.7	14.5	16.6	18.9	17.4	19.3	20.0
IV	12.5	12.9	13.2	12.8	15.1	14.8	16.6	17.4	20.0	22.1	21.0	23.1	23.8
V	14.9	15.5	16.0	15.4	17.9	18.0	20.2	20.7	23.6	25.8	24.7	26.5	27.0
VI	18.2	18.7	19.3	18.4	21.8	21.5	24.0	24.0	27.8	30.2	28.4	31.3	31.1
VII	22.1	22.6	23.1	23.7	26.1	26.8	29.1	30.1	33.5	34.9	34.3	37.0	35.9
VIII	27.8	28.6	29.6	27.9	33.0	33.4	36.8	36.7	41.9	43.3	41.7	45.1	44.3
IX	36.3	39.9	41.4	37.7	44.5	45.1	50.3	51.2	56.5	57.4	55.9	62.5	59.0
X	81.2	93.1	100.2	87.5	102.9	119.2	107.2	116.9	132.1	117.2	112.4	123.1	126.6
Total	237.4	255.3	267.0	247.8	288.3	305.8	315.5	330.3	373.7	375.6	361.5	395.7	396.3

Elaboración propia.

Cuadro D-2. Emisiones de CO₂ por hogar por decil de hogares en México (tCO₂)

Decil/Año	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014
I	3.39	2.70	2.74	2.65	2.70	2.43	2.71	3.05	3.22	3.83	3.75	3.71	3.78
II	5.26	4.48	4.19	4.09	4.13	3.87	4.42	4.32	4.74	5.42	4.93	5.11	5.23
III	6.61	5.72	5.42	5.11	5.37	5.09	5.58	5.67	6.04	6.78	5.90	6.12	6.33
IV	7.81	6.98	6.70	6.25	6.79	6.26	6.78	6.81	7.29	7.95	7.09	7.31	7.50
V	9.36	8.39	8.09	7.52	8.04	7.61	8.24	8.09	8.60	9.25	8.35	8.39	8.53
VI	11.39	10.10	9.79	9.00	9.83	9.07	9.78	9.39	10.12	10.81	9.61	9.91	9.82
VII	13.88	12.18	11.83	11.55	11.79	11.34	11.88	11.80	12.21	12.51	11.62	11.72	11.35
VIII	17.43	15.46	14.92	13.62	14.84	14.11	14.99	14.36	15.25	15.54	14.10	14.32	14.00
IX	22.77	21.62	21.01	18.36	20.06	19.08	20.49	19.99	20.60	20.60	18.91	19.80	18.61
X	50.83	49.95	50.84	42.64	46.22	50.35	43.69	45.73	48.06	42.03	38.04	38.94	39.97
Promedio	14.88	13.77	13.56	12.08	12.99	12.92	12.86	12.92	13.62	13.47	12.23	12.54	12.51

Elaboración propia.

Cuadro D-3. Emisiones de CO₂ per cápita por decil de hogares en México (tCO₂)

Decil/Año	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014
I	0.81	0.67	0.72	0.67	0.72	0.68	0.84	0.93	1.03	1.17	1.21	1.28	1.27
II	1.18	1.02	0.95	0.95	1.04	0.94	1.18	1.25	1.34	1.50	1.45	1.55	1.58
III	1.35	1.25	1.20	1.15	1.24	1.30	1.44	1.47	1.63	1.84	1.70	1.76	1.82
IV	1.62	1.51	1.52	1.34	1.62	1.53	1.61	1.74	1.85	2.05	1.87	2.00	2.01
V	1.89	1.73	1.77	1.67	1.89	1.80	1.93	1.93	2.16	2.29	2.15	2.19	2.21
VI	2.17	2.08	2.07	1.95	2.23	2.10	2.23	2.25	2.45	2.64	2.37	2.53	2.48
VII	2.58	2.38	2.38	2.39	2.67	2.75	2.73	2.75	2.83	2.92	2.73	3.02	2.71
VIII	3.30	3.10	3.05	2.86	3.17	3.14	3.32	3.22	3.43	3.56	3.31	3.46	3.29
IX	4.34	4.51	4.27	3.91	4.35	4.30	4.62	4.38	4.77	4.64	4.33	4.80	4.36
X	10.35	10.72	11.60	9.71	10.90	11.91	10.69	11.11	11.85	9.62	9.12	9.88	10.45
Promedio	3.01	2.94	2.97	2.67	3.03	3.11	3.13	3.21	3.44	3.36	3.16	3.37	3.31

Elaboración propia.

Siglas

BNE	Balance Nacional de Energía
CDIAC	Carbon Dioxide Information Analysis Center
CERP	Climate Equity Reference Project
CONUEE	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
COP	Conferencia de las Partes
DAC	Doméstica de Alto Consumo
DDPP	Deep Decarbonization Pathways Project
DSM	Demand-Side Management
ENCC	Estrategia Nacional de Cambio Climático
ENE	Estrategia Nacional de Energía
ENIGH	Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares
FE	Factor(es) de emisión
FIDE	Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica
Gas L.P.	Gas licuado de petróleo
GEI	Gases de efecto invernadero
GTAP	Global Trade Analysis Project
ICIO	Inter-Country Input-Output
IE	Intensidad energética
IEA	International Energy Agency
INDC	Intended Nationally Determined Contribution
INEGyCEI	Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero
I-P	Insumo-Producto
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LAERFTE	Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento a la Transición Energética
LGCC	Ley General de Cambio Climático
LIE	Ley de la Industria Eléctrica
LSPEE	Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica
LTE	Ley de Transición Energética
MIP	Matriz Insumo-Producto
MiPyMEs	Micro, pequeñas y medianas empresas
MRIO	Multi-Region Input-Output

NOM-ENER	Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética
PECC	Programa Especial de Cambio Climático
PER	Prospectiva de Energías Renovables
PIB	Producto Interno Bruto
PIE's	Productores independientes de energía
PPA	Paridad del poder adquisitivo
PRODESEN	Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional
PRONASE	Programa Nacional de Aprovechamiento Sustentable de la Energía
PROSENER	Programa Sectorial de Energía
PSE	Prospectiva del Sector Eléctrico
RCI	Responsibility and capacity index
RMS	Rendimiento Máximo Sostenible
SENER	Secretaría de Energía
SIE	Sistema de Información Energética
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
WIOD	World Input-Output Database
WWF	World Wildlife Fund

Abreviaturas

\$/GJ	pesos por gigajoule
\$/kg	pesos por kilogramo
\$/kWh	pesos por kilo watts-hora
\$/l	pesos por litro
b/m ³	barriles por metro cúbico
b/t	barriles por tonelada
CO ₂	bióxido de carbono
CO ₂ e	bióxido de carbono equivalente
GJ	gigajoules
GtCO ₂	gigatoneladas de bióxido de carbono
GWh	giga watts-hora
kg	kilogramos
kJ	kilojoules
ktCO ₂	kilo toneladas de bióxido de carbono
kWh	kilo watts-hora
MJ	megajoules
MJ/b	megajoules por barril
M\$	miles de pesos
MM\$	millones de pesos
MMM\$	miles de millones de pesos
Mt	mega toneladas
MtCO ₂	mega-toneladas de bióxido de carbono
MW	mega watts
MWh	mega watts-hora
p-km	pasajeros-kilómetro
petróleo eq.	petróleo equivalente
PJ	petajoules
tCO ₂	toneladas de bióxido de carbono
t-km	toneladas-kilómetro
TWh	tera watts-hora
USD/gal	dólares por galón

Referencias

- LAERFTE, Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento para la Transición Energética (Diario Oficial de la Federación 28 de noviembre de 2008).
- LASE, Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (Diario Oficial de la Federación 28 de noviembre de 2008).
- LGCC, Ley General de Cambio Climático (Diario Oficial de la Federación 6 de junio de 2012).
- LIE, Ley de la Industria Eléctrica (Diario Oficial de la Federación 11 de agosto de 2014).
- INDC, Intended Nationally Determined Contribution (Gobierno de la República marzo de 2015).
- LTE, Ley de Transición Energética (Diario Oficial de la Federación 24 de diciembre de 2015).
- Aall, C., & Hille, J. (2010). Consumption – a missing dimension in climate policy. En R. Bhaskar, & J. Parker, *Interdisciplinarity and Climate Change. Transforming knowledge and practice for our global future* (págs. 85-99). New York: Routledge.
- Aguiar, A., Narayanan, B., & McDougall, R. (2016). An Overview of the GTAP 9 Data Base. *Journal of Global Economic Analysis*, 1(1), 181-208.
- Aguilera Klink, F., & Alcántara, V. (1994). De la economía ambiental a la economía ecológica. En F. Aguilera Klink, & V. Alcántara (Edits.), *De la economía ambiental a la economía ecológica* (págs. 9-21). Barcelona: ICARIA-FUEHEM, D.L. / Edición electrónica revisada 2011 CIP-Ecosocial.
- Álvarez Maciel, C. (julio-agosto de 2009). Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional. *Economía Informa*(359), 63-89.
- Arrow, K. J. (1999). Discounting, morality and gaming. En P. R. Portney, & J. Weyant, *Discounting and intergenerational equity* (págs. 13-22). Washington, DC: Resources for the Future.
- ASI. (2018). *Programa de Ahorro Sistemico Integral*. Recuperado el 4 de noviembre de 2018, de <http://programaasibc.com.mx/nosotros.php>
- Baer, P. (enero-febrero de 2013). The greenhouse development rights framework for global burden sharing: reflection on principles and prospects. *WIREs Clim Change*, 4, 61-71.
- Bird, N., Cowie, A., Cherubini, F., & Jungmeier, G. (2011). *Using a Life Cycle Assessment Approach to Estimate the Net Greenhouse Gas Emissions of Bioenergy*. IEA Bioenergy.
- Blaug, M. (1962). *Teoría económica en retrospectiva* (1985 ed.). (E. L. Suárez, Trad.) FCE.
- Boden, T., Marland, G., & Andres, R. (2016). *Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO2 Emissions*. USA: Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC), Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., USA.
- Borja Díaz, M. A. (2012). Country reports: Mexico. En IEA, *IEA Wind, 2011 Annual Report* (págs. 132-136).
- BP. (2016). *BP Statistical Review of World Energy*.
- Brey, P. (1999). Sustainable Technology and the Limits of Ecological Modernization. *Ludus Vitalis*, VII(12), 153-167.
- Bustos, A., & Leyva, G. (2017). Towards a More Realistic Estimate of the Income Distribution in Mexico. *Latin American Policy*, 8(1), 114-126.
- Cámara de Diputados. (15 de diciembre de 2014). Gaceta Parlamentaria. *Proyecto de decreto que expide la Ley de Transición Energética*. México, D.F.
- Campos, R., Chávez, E., & Esquivel, G. (2015). A New Approach for Top Income Shares: Mexico since the 1990s. *Paper presented to the Latin American and Caribbean Economic Association*. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

- Carlyle, T. (1849). The Nigger Question. *Miscellaneous Essays*, 7(1888), 79-110.
- Cassidy, J. (2013). Ronald Coase y el mal uso de la economía. *Revista de Economía Institucional*, 15(29), 321-325.
- CFE. (2014). *CFE y la electricidad en México*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2015, de Comisión Federal de Electricidad: http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/CFE_y_la_electricidad_en_Mexico/Paginas/CFEylaelectricidadMexico.aspx
- CFE. (2017). *Eficiencia energética. Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (PAESE)*. México.
- CFE. (2018). *Usuarios y consumo de electricidad por municipio (a partir de 2018)*. Recuperado el 25 de agosto de 2018, de <https://datos.gob.mx/busca/dataset/usuarios-y-consumo-de-electricidad-por-municipio-a-partir-de-2018/resource/38b7a514-78c2-4355-9ed0-d6ac72722952>
- Chakravarty, S., Chikkatur, A., de Coninck, H., Pacala, S., Socolow, R., & Tavoni, M. (21 de julio de 2009). Sharing global CO2 emission reductions among one billion high emitters. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 106(29), 11884-11888.
- Chancel, L., & Piketty, T. (noviembre de 2015). *Carbon and inequality: from Kyoto to Paris. Trends in the global inequality of carbon emissions (1998-2013) & prospects for an equitable adaptation fund*. Paris: Paris School of Economics.
- Chapa, J., & Ortega, A. (2017). Identifying the Main Emitters of CO2 in Mexico: a Multi-Sectoral Study. (P. MUSE, Ed.) *Economía*, 17(2), 135-172.
- CICC. (2009). *Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012*. México, D.F.
- CICC. (2013). *Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40*. México, D.F.
- CICC. (2014). *Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018*. México, D.F.
- Coase, R. (1960). El problema del coste social. En F. Aguilera Kink, & V. Alcántara (Edits.), *De la economía ambiental a la economía ecológica (1994)* (págs. 41-77). Barcelona: ICARIA-FUEHEM, D.L.
- Cohen, C., Lenzen, M., & Schaeffer, R. (2005). Energy requirements of households in Brazil. *Energy Policy*, 33, 555-562.
- Commission of the European Communities. (2000). *Green paper. Towards a European strategy for the security of energy supply*. Bruselas.
- Common, M., & Stagl, S. (2008). *Introducción a la Economía Ecológica*. Barcelona: Reverté.
- CONUEE. (2015). *Informe de resultados de ahorro de energía en la Administración Pública Federal 2014*. México, D.F.
- Cortés, F. (octubre de 2001). El cálculo de la pobreza en México a partir de la encuesta de ingresos y gastos. *Comercio exterior*, 51(10), 879-884.
- Cortés, F. (septiembre-diciembre de 2012). Uso de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) en el estudio de la desigualdad en la distribución del ingreso en México. *Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 3(3), 102-113.
- Cortés, F., & Vargas, D. (2017). La evolución de la desigualdad en México: viejos y nuevos resultados. *Economía Mexicana*(2), 39-96.
- Cruz Islas, I. C. (agosto de 2012). Determinantes socio-demográficos del consumo de energía en los hogares de México, en el marco de la Estrategia Nacional del Cambio Climático. México: Tesis de Doctorado, El Colegio de México.
- Cruz Islas, I. C. (2016). Emisiones de CO2 en hogares urbanos. El caso del Distrito Federal. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 31(1 (91)), 115-142.
- Cuerdo Mir, M., & Ramos Gorostiza, J. (2000). *Economía y naturaleza: una historia de las ideas*. Síntesis.

- Daly, H. E. (mayo de 1974). La economía del estado estacionario. *Demografía y Economía*, VIII(3), 357-365.
- Damián, A. (2007). Los problemas de comparabilidad de las ENIGH y su efecto en la medición de la pobreza. *Papeles de población*, 13(51), 111-146.
- Davis, S. J., & Caldeira, K. (23 de marzo de 2010). Consumption-based accounting of CO2 emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 107(12), 5687-5692.
- DDPP. (2015). *Pathways to deep decarbonization 2015 report*. SDSN - IDDRI.
- de Buen, O. (2004). ILUMEX: Desarrollo y lecciones del primer proyecto mayor de ahorro de energía en México. En J. Martínez, & A. Fernández Bremauntz, *Cambio climático: una visión desde México* (págs. 423-434). México, D.F.: SEMARNAT-INE.
- de Buen, O. (24 de septiembre de 2013). *Micrositio Foro Permanente de Eficiencia Energética en el Transporte*. Recuperado el 10 de noviembre de 2018, de Primera Sesión del "Foro de Eficiencia Energética en el Transporte": <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/84620/palabrasdeOdeBfotot.pdf>
- de Buen, O. (julio de 2015). Ahorro y uso eficiente de la energía en México: pasado, presente y futuro. México, D.F.: Presentación en curso de Actualización en Sistemas Energéticos del WEC.
- de Buen, O., & Hernández, F. (septiembre-octubre de 2015). Logros de la eficiencia energética en las viviendas en México. *Energía a Debate*(70), 67-69.
- de Buen, O., Hernández, F., & Navarrete, J. I. (2016). *Análisis de la evolución del consumo eléctrico del sector residencial entre 1982 y 2014 e impactos de ahorro de energía por políticas públicas*. CONUEE, México.
- de la Vega, A. (mayo de 2013). La transformación energética en México como productor de petróleo. Perspectivas de un nuevo crecimiento. *Análisis Político*. México: Fundación Friedrich Ebert Stiftung.
- de la Vega, A. (2015a). Apuntes acerca del lugar del conocimiento económico en los análisis del IPCC. En X. Cruz Nuñez, G. C. Delgado, & Ú. Oswald, *México ante la urgencia climática: ciencia, política y sociedad* (págs. 89-110). México: CEIICH-UNAM, CRIM-UNAM, PINCC-UNAM.
- de la Vega, A. (agosto de 2015b). Lac-Mégantic: una catástrofe petrolera, urbana y ambiental. *Energía a Debate*(70), 70-73.
- de Sousa Santos, B. (julio-septiembre de 2011). Epistemologías del sur. *Utopía y praxis latinoamericana*, 16(54), 17-39.
- del Castillo Negrete, M. (2015). *La magnitud de la desigualdad en el ingreso y la riqueza en México. Una propuesta de cálculo*. Serie Estudios y Perspectivas, Sede Subregional de la CEPAL en México.
- Díaz Pichardo, L. (abril-junio de 2013). Los vampiros de la energía. *Evolución y Energía*(7), 28-31.
- Dornbusch, R., Fischer, S., & Startz, R. (2009). *Macroeconomía*. México: McGraw Hill.
- Dubois, G., & Ceron, J.-P. (2015). Consommation et modes de vie : une autre perspective sur les politiques d'atténuation du changement climatique. *Natures Sciences Sociétés*(23, supplément), S76-S90.
- EcoEquity; Stockholm Environment Institute. (2015). *Climate Equity Reference Project*. Recuperado el 25 de agosto de 2016, de <https://climateequityreference.org/>
- EIA. (2014). *International Energy Outlook*.
- EIA. (2016a). *Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2016*.
- EIA. (2016b). *Short Term Energy Outlook*.
- EPA. (2007). *Regulatory Impact Analysis: Renewable Fuel Standard Program*. Estados Unidos.

- Espíndola, C., & Valderrama, J. O. (2012). Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. *Información Tecnológica*, 23(1), 163-176.
- FAO. (2008). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades*.
- Fargione, J., Hill, J., Tilman, D., Polasky, S., & Hawthorne, P. (29 de febrero de 2008). Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt. *Science*, 319(5867), 1235-1238.
- Fattahi, A., & Deihimi, M. (2017). A review of demand-side management: Reconsidering theoretical framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 367–379.
- Fernández-Amador, O., Francois, J., & Tomberger, P. (2016). Carbon dioxide emissions and international trade at the turn of the millennium. *Ecological Economics*, 125, 14-26.
- FIDE. (abril de 2015). *Programas de apoyo del FIDE*. Recuperado el 5 de septiembre de 2015, de <http://www.fide.org.mx/>
- Foladori, G. (2005a). Una tipología del pensamiento ambientalista. En G. Foladori, & N. Pierri, *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable* (págs. 83-136). México: Miguel Ángel Porrúa, UAZ, Cámara de Diputados LIX Legislatura.
- Foladori, G. (2005b). La economía ecológica. En G. Foladori, & N. Pierri, *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable* (págs. 189-196). México: Miguel Ángel Porrúa, UAZ, Cámara de Diputados LIX Legislatura.
- Font Vivanco, D., McDowall, W., Freire-González, J., Kemp, R., & van der Voet, E. (2016). The foundations of the environmental rebound effect and its contribution towards a general framework. *Ecological Economics*, 125, 60-69.
- García Ochoa, R. (2010). Hacia una perspectiva de la sustentabilidad energética. En J. Lezama, & B. Graizbord, *Los grandes problemas de México. Medio Ambiente*. (págs. 337-372). México, D.F.: El Colegio de México.
- Gay, C., & Rueda, J. C. (2012). La respuesta internacional al cambio climático. En J. L. Calva, *Cambio climático y políticas de desarrollo sustentable* (págs. 81-95). México, D.F.: Juan Pablos Editor y Consejo Nacional de Universitarios.
- Gellings, C. W., & Parmenter, K. E. (2017). Demand-Side Management. En F. Kreith, & Y. Goswami (Edits.), *Energy Management and Conservation Handbook* (Segunda ed., págs. 387-408). New York: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Genty, A., Arto, I., & Neuwahl, F. (2012). *Final database of environmental satellite accounts: technical report on their compilation*. WIOD Doc.
- Georgescu-Roegen, N. (1971). *La ley de la entropía y el proceso económico* (1996 ed.). Fundación Argentaria-Visor Distribuciones.
- Gerencia de Geotermia, IIE. (s.f.). *Informe 1*. Cuernavaca, Morelos.
- Golley, J., & Meng, X. (2012). Income inequality and carbon dioxide emissions: The case of Chinese urban households. *Energy Economics*, 34, 1864–1872.
- Grubler, A., & Pachauri, S. (27 de octubre de 2009). Problems with burden-sharing proposal among one billion high emitters. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 106(43), E122–E123.
- Guijarro, A., Lumbreras, J., Habert, J., & Guereña, A. (2009). *Impacto de los proyectos MDL sobre el desarrollo humano. Análisis de experiencias en Marruecos, Guatemala y México*. Intermón Oxfam.
- Hardin, G. (diciembre de 1968). La tragedia de los comunes. *Science*, 162(3859), 1243-1248.
- Hartwick, J. M. (diciembre de 1977). Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources. *The American Economic Review*, 67(5), 972-974.

- Hélaine, S., M'barek, R., & Gay, H. (2013). *Impacts of the EU biofuel policy on agricultural markets and land use*. Luxemburgo: European Commission.
- Herendeen, R., & Tanaka, J. (1976). Energy cost of living. *Energy*, 1(2), 165-178.
- Hertwich, E. G. (2005). Consumption and the rebound effect. *Journal of Industrial Ecology*, 9(1-2), 85-98.
- Honty, G., & Gudynas, E. (2014). *Cambio climático y buen vivir. Alternativas al desarrollo para un clima seguro*. Lima: Centro Latinoamericano de Ecología Social (CLAES) y Red Peruana por una Globalización con Equidad (RedGE).
- IAEA. (2015). *Modelo para el Análisis de Sistemas Energéticos*.
- Ibarra, L. G. (2013). *El aprovechamiento sustentable de la energía en la administración pública federal mexicana: un ejemplo de sobrerregulación*. México, D.F.: UNAM, Instituto de Investigaciones Jurídicas.
- IEA. (2011). *CO2 emissions from fuel combustion 2011*.
- IEA. (2014). *World Energy Outlook. Resumen ejecutivo*.
- IEA. (2015a). *Energy and climate change. World Energy Outlook Special Report*.
- IEA. (2015b). *Headline global energy data*.
- IEA. (2015c). *Indicadores de eficiencia energética: bases esenciales para el establecimiento de políticas*.
- IEA. (2016). *CO2 emissions from fuel combustion 2016*.
- IEA. (2017a). *CO2 emissions from fuel combustion 2017*.
- IEA. (17 de marzo de 2017b). *IEA finds CO2 emissions flat for third straight year even as global economy grew in 2016*. Recuperado el 14 de julio de 2017, de <https://www.iea.org/newsroom/news/2017/march/iea-finds-co2-emissions-flat-for-third-straight-year-even-as-global-economy-grew.html>
- INECC. (6 de junio de 2010). *Cambio climático en México. ¿Qué se está haciendo para mitigar el cambio climático?* Recuperado el 06 de Agosto de 2015, de <http://cambioclimatico.inecc.gob.mx/comprendercc/qsehaceparamitigarelcc/ambitonacional.html>
- INECC. (2018). *Contexto Internacional en materia de Cambio Climático*. Recuperado el 6 de abril de 2018, de <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/contexto-internacional-17057>
- INECC-SEMARNAT. (2015). *Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México.
- INECC-SEMARNAT. (2018). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015*. Ciudad de México.
- INEGI. (2013). *Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2012*. México.
- INEGI. (2014a). *Estadísticas históricas de México 2014*. México, D.F.
- INEGI. (2014b). *Matriz Insumo-Producto 2012*. México.
- INEGI. (2018a). *Banco de Indicadores*. Obtenido de <http://www.beta.inegi.org.mx/app/indicadores/>
- INEGI. (2018b). *Banco de Información Económica*. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>
- INEGI. (varios años). *Encuesta Nacional Ingreso Gasto de los Hogares, ENIGH*. México.
- INE-SEMARNAP. (2000). *Estrategia Nacional de Acción Climática*. México, D.F.
- IPCC. (1996). *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.
- IPCC. (2012). *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
- IPCC. (2014a). *Climate change 2014: Impacts, adaptation and vulnerability*. New York: Cambridge University Press.
- IPCC. (2014b). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. New York: Cambridge University Press.
- IRENA. (2016). *International Renewable Energy Agency*. Recuperado el 29 de septiembre de 2016, de Data and Statics. LCOE 2010-2015: <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=3&subTopic=33>
- Ivanova, D., Stadler, K., Steen-Olsen, K., Wood, R., Vita, G., Tukker, A., y otros. (2016). Environmental Impact Assessment of Household Consumption. *Journal of Industrial Ecology*, 20(3), 526–536.
- Jackson, T. (2009). *Prosperity without growth*. London: Earthscan.
- Jevons, W. S. (1865). *The Coal Question; An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal Mines*. Reino Unido: Macmillan Publishers.
- Jiménez, R., & Yépez-García, A. (2017). *Understanding the Drivers of Household Energy Spending: Micro Evidence for Latin America*. Inter-American Development Bank.
- Kaldor, N. (1979). Un modelo de distribución. En A. Sen, *Economía del crecimiento. Lecturas N° 28*. México: FCE.
- Kaul, I., Grunberg, I., & Stern, M. A. (1999). Defining Global Public Goods. En I. Kaul, I. Grunberg, & M. A. Stern, *Global Public Goods. International Cooperation in the 21st Century*. Nueva York: Oxford University Press.
- Kerschner, C. (junio de 2008). Economía en estado estacionario vs decrecimiento económico: ¿opuestos o complementarios? *Ecología Política*(35), 13-16.
- Keynes, J. M. (1930). Economic possibilities for our grandchildren. En J. M. Keynes, *Essays in persuasion* (págs. 358-373). New York: W.W.Norton & Co.
- Keynes, J. M. (1936). *Teoría general de la ocupación, el interés y el dinero* (2010 ed.). México: FCE.
- Latouche, S. (2006). *La apuesta por el decrecimiento* (2009 ed.). Barcelona: ICARIA.
- Le Quéré, C., Andrew, R. M., Canadell, J. G., Sitch, S., Korsbakken, J. I., Peters, G. P., y otros. (2016). Global Carbon Budget 2016. *Earth System Science Data*, 8, 605-649.
- Leal, J. (2005). *Ecoeficiencia: marco de análisis, indicadores y experiencias*. Santiago de Chile: CEPAL. Serie Medio Ambiente y Desarrollo.
- Ledec, G. C., Rapp, K. W., & Aiello, R. G. (2011). *Greening the wind. Environmental and social considerations for wind power development*. Washington: The World Bank.
- Leff, E. (2008). *Discursos sustentables*. México: Siglo XXI.
- Lélé, S. M. (1991). Sustainable Development: A Critical Review. *World Development*, 19(6), 607-621.
- Lenglart, F., Lesieur, C., & Pasquier, J.-L. (2010). Les émissions de CO2 du circuit économique en France. *L'économie française*, 101-125.
- Lenzen, M. (1998). The energy and greenhouse gas cost of living for Australia during 1993-94. *Energy*, 23(6), 497–516.
- Lenzen, M., Moran, D., Kanemoto, K., & Geschke, A. (2013). Building Eora: A Global Multi-regional Input-Output Database at High Country and Sector Resolution. *Economic Systems Research*, 25(1), 20-49.
- Leontief, W. (agosto de 1970). Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach. *The Review of Economics and Statistics*, 52(3), 262-271.

- Leyva Parra, G. (noviembre de 2004). El ajuste del ingreso de la ENIGH con la contabilidad nacional y la medición de la pobreza en México. *Serie Documentos de Investigación*(19). Sedesol.
- Lezama, J. L. (2010). Sociedad, medio ambiente y política ambiental, 1970-2000. En J. L. Lezama, & B. Graizbord, *Medio ambiente* (págs. 23-60). México: El Colegio de México (Los grandes problemas de México; Vol. IV).
- Lezama, J. L. (Febrero de 2013). La política internacional del cambio climático. *Sociedad y ambiente*, 1(3), 104-117.
- Lezama, J. L. (2014). *Política energética y sustentabilidad. La estrategia mexicana de ahorro y eficiencia de energía eléctrica en los hogares y la experiencia internacional*. México: El Colegio de México-CEDUA.
- Maddison, A. (1991). *Historia del desarrollo capitalista*. Barcelona: Ariel.
- Majid, M., Moeinzadeh, S., & Tifwa, H. (2014). Income-carbon footprint relationships for urban and rural households of Iskandar Malaysia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 18.
- Malthus, R. (1798). *Ensayo sobre el principio de la población* (2007 ed.). Buenos Aires: Claridad.
- Mancero, X. (16 de noviembre de 2016). Consideraciones sobre el uso de las Cuentas Nacionales para "ajustar" ingresos de las encuestas de hogares. *Seminario Internacional Medición de la Distribución del Ingreso y la Desigualdad*. Ciudad de México.
- Mankiw, G. N. (2012). *Principios de economía*. México: Cengage Learning.
- Martínez Alier, J., & Schlüpmann, K. (1991). *La economía y la ecología*. Madrid: FCE.
- Meadows, D., Meadows, D., Randers, J., & Beherens III, W. (1972). *Los límites del crecimiento - Informe del Club de Roma sobre el predicamento de la humanidad*. México: FCE.
- Mebratu, D. (1998). Sustainability and sustainable development: historical and conceptual review. *Environmental impact assessment review*, 18(6), 493-520.
- Munksgaard, J., Minx, J., Christoffersen, L., & Pade, L.-L. (2009). Models for National CO2 Accounting. En S. Suh, *Handbook of Input-Output Economics in Industrial Ecology* (págs. 533-558). Saint Paul: Springer.
- Naciones Unidas. (2014). *Framework Convention on Climate Change. Información básica*. Recuperado el 1 de Octubre de 2015, de http://unfccc.int/portal_espanol/informacion_basica/la_convencion/historia/items/6197.php
- Naciones Unidas. (2015). *World Population Prospects: The 2012 Revision*. Department of Economic and Social Affairs, Population Division.
- Naredo, J. M. (1987). *La economía en evolución: historia y categorías básicas del pensamiento económico* (1996 ed.). Madrid: Siglo XXI.
- Navarrete, J. I., & de Buen, O. (2017). *Análisis de la evolución de los indicadores de eficiencia energética en México por sector, 1995-2015*. Cuadernos de la CONUEE. Número 8, CONUEE, México.
- Navarro, J. C. (mayo de 2014). *Energía y equidad en México: tendencias en la distribución del ingreso y el gasto en energía 1968-2008*. México: Tesis de Maestría, UNAM.
- OCDE-Centro Mario Molina. (2013). *Evaluaciones de la OCDE sobre desempeño ambiental: México 2013*. México, D.F.
- Ostrom, E. (1990). *El gobierno de los bienes comunes* (2012 ed.). FCE.
- OXFAM. (2015). *La desigualdad extrema de las emisiones de carbono*.
- Pachauri, S. (2004). An analysis of cross-sectional variations in total household energy requirements in India using micro survey data. *Energy Policy*, 32, 1723–1735.

- Parikh, J., Panda, M., Ganesh-Kumar, A., & Singh, V. (2009). CO2 emissions structure of Indian economy. *Energy*, 34, 1024–1031.
- Park, H.-C., & Heo, E. (2007). The direct and indirect household energy requirements in the Republic of Korea from 1980 to 2000—An input–output analysis. *Energy Policy*, 35, 2839–2851.
- Patzek, T. W., Anti, S.-M., Campos, R., Ha, K. W., Lee, J., Li, B., y otros. (2005). Ethanol from corn: clean renewable fuel for the future, or drain on our resources and pockets? *Environment, Development and Sustainability*, 7, 319-336.
- Pérez Espejo, R., Ávila Foucat, S., & Aguilar Ibarra, A. (2010). *Introducción a las economías de la naturaleza*. México: UNAM-IIEc.
- Peters, G. P., Minx, J. C., Weber, C. L., & Edenhofer, O. (2011). Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108, 8903-8908.
- Peters, G., & Hertwich, E. (2008). CO2 Embodied in International Trade with Implications for Global Climate Policy. *Environmental Science & Technology*, 42(5), 1401-1407.
- PNUMA. (2011). *Hacia una economía verde: Guía para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza*.
- Podolinsky, S. A. (1880). El trabajo del ser humano y su relación con la distribución de la energía. En J. Martínez Alier (Ed.), *Los principios de la Economía Ecológica* (págs. 65-142). España: Fundación Argentaria - Visor Distribuciones.
- Popp, D., Newell, R. G., & Jaffe, A. B. (2010). Energy, the environment, and technological change. En B. Halland, & N. Rosenberg, *Handbook of the Economics of Innovation- Vol-II* (págs. 873-938). Burlington: Academic Press.
- Puyana, A. (2015). *Colombia y México: la economía petrolera en un mercado global y politizado*. México, D.F.: Flacso.
- Puyana, A. (2017). La economía mexicana bajo el Tratado del Libre Comercio de América del Norte: ¿mucho ruido, pocas nueces? En M. Tawil Kuri, I. Aguilar, N. Fuentes, J. Le Clereq, S. Nuñez, & L. Ruano, *La integración en América del Norte (1994-2016). Reflexiones desde el PIERAN*. México: El Colegio de México, Centro de Estudios Internacionales.
- Ramos Gorostiza, J. L. (2005). Medio natural y pensamiento económico: historia de un reencuentro. *Principios. Estudios de economía política*(2), 47-70.
- Ricardo, D. (1817). *Principios de economía política y tributación* (1959 ed.). Fondo de Cultura Económica.
- Rosas Flores, J. A. (2011). Evolución del consumo y gasto económico de energía en el sector residencial (urbano-rural) mexicano 1996-2006. Ciudad de México: Tesis de Doctorado, UNAM.
- Rosas Flores, J., Sheinbaum, C., & Morillon, D. (2010). The structure of household energy consumption and related CO2 emissions by income group in Mexico. *Energy for Sustainable Development*, 14, 127-133.
- Ryan, J. (Segundo trimestre de 2003). Hubbert's Peak. Deja vu All Over Again. *International Association for Energy Economics Newsletter*, 9-12.
- Sánchez Corral, J. (2012). *La vivienda social en México. Presente-pasado-futuro*. México: Sistema Nacional de Creadores de Arte Emisión 2008.
- Sánchez Peña, L. (2012a). El consumo energético de los hogares en México. *Coyuntura Demográfica*(2).
- Sánchez Peña, L. (1 de octubre de 2012b). Hogares y consumo energético en México. *Revista Digital Universitaria*, 13(10).
- Schneider, H., & Samaniego, J. (2009). *La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios*. Santiago de Chile: CEPAL.

- Schumacher, E. F. (1973). *Lo pequeño es hermoso* (1983 ed.). (O. Margenet, Trad.) Barcelona: Ediciones Orbis.
- Searchinger, T. D., Hamburg, S. P., Melillo, J., Chameides, W., Havlik, P., Kammen, D. M., y otros. (23 de octubre de 2009). Fixing a critical climate accounting error. *Science*, 326(5952), 527-528.
- SEMARNAT. (27 de marzo de 2015). *México comunica a ONU sus compromisos de mitigación y adaptación al cambio climático para el período 2020-2030*. Recuperado el 6 de junio de 2015, de Nota de prensa 66/15: <http://saladeprensa.semarnat.gob.mx/index.php/noticias/2123-mexico-comunica-naciones-unidas-sus-compromisos-de-mitigacion-y-adaptacion-al-cambio-climatico-para-el-periodo-2020-2030>
- SEMARNAT. (2015). *Transporte limpio*. Recuperado el 2018 de septiembre de 10, de SEMARNAT: <https://www.semarnat.gob.mx/temas/gestion-ambiental/calidad-del-aire/transporte-limpio>
- SEMARNAT-INECC. (2012). *México. Quinta comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México, D.F.
- SENER. (2002). *Programa Sectorial de Energía 2001-2006*. México, D.F.
- SENER. (2008). *Programa Sectorial de Energía 2007-2012*. México, D.F.
- SENER. (2009a). *Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables*. México, D.F.
- SENER. (2009b). *Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2009-2012*. México, D.F.
- SENER. (2012a). *Estrategia Nacional de Energía 2012-2026*. México, D.F.
- SENER. (2012b). *Prospectiva de Energías Renovables 2012-2016*. México, D.F.
- SENER. (2012c). *Prospectiva del Sector Eléctrico 2012-2026*. México, D.F.
- SENER. (2013a). *Balance Nacional de Energía 2012*. México, D.F.
- SENER. (2013b). *Programa Sectorial de Energía 2013-2018*. México, D.F.
- SENER. (2014). *Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2014-2018*. México, D.F.
- SENER. (junio de 2015a). *Inventario Nacional de Energías Renovables*. Recuperado el 1 de diciembre de 2016, de <https://dgel.energia.gob.mx/inere/>
- SENER. (2015b). *Programa de Desarrollo del Sector Eléctrico Nacional 2015-2029*. México, D.F.
- SENER. (2016). *Programa de Desarrollo del Sector Eléctrico Nacional 2016-2030*. México, D.F.
- SENER. (2017). *Prospectiva del gas natural 2017-2031*. Ciudad de México.
- SENER en colaboración con IEA. (2011). *Indicadores de eficiencia energética en México. 5 sectores, 5 retos*. México, D.F.
- Shoemaker, J., Schrag, D., Molina, M., & Ramanathan, V. (13 de Diciembre de 2013). What role for short-lived climate pollutants in mitigation policy? *Science*, 342(6164), 1323-2324.
- SIE. (2018). *Sistema de Información Energética*. Obtenido de <http://sie.energia.gob.mx/>
- Simms, A., Johnson, V., & Chowla, P. (2010). *Growth isn't possible. Why we need a new economic direction*. NEF- Schumacher College.
- Smith, A. (1776). *Una investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones* (1994 ed.). Alianza Editorial.
- Smith, J. L. (17 de Agosto de 2010). *On The Portents of Peak Oil. (And Other Indicators of Resource Scarcity)*. Dallas, TX: Department of Finance, Southern Methodist University.

- Soddy, F. (1922). Economía cartesiana: la influencia de la ciencia física en la administración del Estado. En J. Martínez Alier (Ed.), *Los principios de la Economía Ecológica* (págs. 145-172). España: Fundación Argentaria - Visor Distribuciones.
- Solís, A. (1 de octubre de 2015). Bajos precios del petróleo frenan las energías renovables. *Forbes*.
- Solow, R. M. (febrero de 1956). A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94.
- Solow, R. M. (agosto de 1957). Technical change and the aggregate production function. *The Review of Economics and Statistics*, 39(3), 312-320.
- Stadler, K., Lonka, R., Moran, D., Pallas, G., & Wood, R. (2015). *The Environmental Footprints Explorer - a database for global sustainable accounting. EnviroInfo & ICT4S, Adjunct Proceedings (Part 2)*. Norwegian University of Science and Technology.
- Suh, S., & Kagawa, S. (2009). Industrial Ecology and Input-Output Economics: A Brief History. En S. Suh, *Handbook of Input-Output Economics in Industrial Ecology* (págs. 45-58). Saint Paul: Springer.
- Swan, T. W. (noviembre de 1956). Economic growth and capital accumulation. *Economic Record*, 32(2), 334-361.
- The Conference Board. (2015). *The Conference Board Total Economy Database*.
- Toledo, V. M. (2015). *Ecocidio en México. La batalla final es por la vida*. México: Grijalbo.
- Trainer, T. (2007). *Renewable Energy Cannot Sustain A Consumer Society*. Australia: Springer.
- Trainer, T. (2011). The radical implications of a zero growth economy. *Real-World Economics Review*(57), 71-82.
- Tukker, A., & Dietzenbacher, E. (2013). Global Multiregional Input-Output Frameworks: an introduction and outlook. *Economic Systems Research*, 25(1), 1-19.
- Turner, K., Lenzen, M., Wiedmann, T., & Barrett, J. (2007). Examining the global environmental impact of regional consumption activities—Part 1: A technical note on combining input-output and ecological footprint analysis. *Ecological Economics*, 62, 37-44.
- Ummel, K. (octubre de 2014). Who pollutes? A household-level database of America's greenhouse gas footprint. *Working Paper 381*. Washington, DC: Center for Global Development.
- UNFCCC. (12 de diciembre de 2015). *Acuerdo de París. COP21*.
- Villatoro, P. (2015). Ajuste de los ingresos de las encuestas a las Cuentas Nacionales. Una revisión de la literatura. *Serie Estudios Estadísticos*(91). CEPAL.
- Von Weizsäcker, E., Lovins, A., & Lovins, L. (1998). *Factor Four: doubling wealth, halving resource use. The new report to the Club of Rome*. London: Earthscan.
- Vringer, K., & Blok, K. (1995). The direct and indirect energy requirements of households in the Netherlands. *Energy Policy*, 23(10), 893-910.
- Walras, L. (1874). *Elementos de economía política pura (o teoría de la riqueza social)* (1987 ed.). Madrid: Alianza.
- Watkins, G. (2006). Oil scarcity: What have the past three decades revealed? *Energy Policy*, 34, 508-514.
- WB. (2013). *Global Economic Prospects, Volume 7, June 2013: Less volatile, but slower growth*.
- WB. (2016). *Global Economic Prospects. Spillovers amid Weak Growth*. Washington, DC.
- WB. (2018). *World Development Indicators*. Obtenido de <http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=wdi-database-archives-%28beta%29>
- WCED. (1987). *Nuestro futuro común*. Naciones Unidas.

- Weber, C. L., & Matthews, H. S. (2008). Quantifying the global and distributional aspects of American household carbon footprint. *Ecological Economics*, 66, 379 – 391.
- WEC. (2015). *World Energy Resources: Charting the Upsurge in Hydropower Development 2015*. London.
- Wiebe, K. S., & Yamano, N. (2016). *Estimating CO2 Emissions Embodied in Final Demand and Trade Using the OECD ICIO 2015*. OECD Science, Technology and Industry Working Papers 2016/05. Paris: OECD.
- Wiedmann, T. (2009). A review of recent multi-region input–output models used for consumption-based emission and resource accounting. *Ecological Economics*, 69, 211-222.
- Wiedmann, T., Lenzen, M., Turner, K., & Barrett, J. (2007). Examining the global environmental impact of regional consumption activities — Part 2: Review of input–output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade. *Ecological Economics*, 61, 15-26.
- Wise, T. A. (2012). *The Cost to Developing Countries of U.S. Corn Ethanol Expansion*. Global Development and Environment Institute.
- Wood, R., Stadler, K., Bulavskaya, T., Lutter, S., Giljum, S., de Koning, A., y otros. (2015). Global sustainability accounting-developing EXIOBASE for multi-regional footprint analysis. *Sustainability*, 7(1), 138-163.
- WWF. (2016). *Living Planet Report 2016. Risk and resilience in a new era*.
- Zavala Araiza, D. (2015). Implicaciones climáticas del metano y los contaminantes de vida corta ¿Es el gas natural una energía limpia? *Presentación en el Seminario del Doctorado en Economía del área de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable de la UNAM, 2015*. México, D.F.