



ESTUDIOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN AMÉRICA LATINA

La demanda de energía del sector transporte y el cambio climático en Honduras

Informe final

Felipe Vásquez Lavín
Roberto Ponce Oliva
José Ignacio Hernández



NACIONES UNIDAS

CEPAL





La demanda de energía del sector transporte y el cambio climático en Honduras

Informe final

Felipe Vásquez Lavín
Roberto Ponce Oliva
José Ignacio Hernández



Este documento fue preparado por Felipe Vásquez Lavín, Roberto Ponce Oliva y José Ignacio Hernández, Consultores de la Unidad de Cambio Climático de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en el marco de las actividades del programa EUROCLIMA (CEC/14/001), con financiamiento de la Unión Europea.

Ni la Unión Europea ni ninguna persona que actúe en su nombre es responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en esta publicación. Los puntos de vista expresados en este estudio son de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Unión Europea.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización.

Publicación de las Naciones Unidas

LC/TS.2017/34

Distribución: Limitada

Copyright © Naciones Unidas, abril de 2017. Todos los derechos reservados

Impreso en Naciones Unidas, Santiago

S.17-00335

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Publicaciones y Servicios Web, publicaciones@cepal.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

Índice

Glosario	5
Antecedentes	7
Objetivos	9
Introducción	11
I. Estado del arte	13
A. Definición y clasificación del sector transporte	13
B. Demanda de energía del sector transporte	14
C. Relación del sector transporte y el cambio climático	15
D. Factores de emisión	16
II. Energía, transporte y cambio climático en Honduras	17
A. Consumo de combustible	18
B. Evolución del parque automotriz	20
C. Emisiones de gases con efecto invernadero	21
III. Determinantes de la demanda de energía en transporte	23
A. Proyecciones de demanda de energía	23
B. Modelos de demanda de energía de transporte	24
1. Modelos de series de tiempo (datos agregados)	25
2. Modelos de corte transversal con datos individuales	26
3. Modelos no econométricos	28
C. Requerimientos de información	31
IV. Estimaciones de demanda de combustible para Honduras	33
A. Modelos estimados	34
1. Modelos simples de regresión en series de tiempo	34
2. Modelos cointegrados	35
V. Instrumentos de política para el cambio climático	41
A. Contexto internacional	41
B. Instrumentos para el control de emisiones	42
C. Acciones de mitigación	44
1. Diseño de un sistema de transporte sustentable y eficiente	44
2. Nuevos sistemas de propulsión y vehículos más eficientes	44
3. Inclusión de fuentes combustibles bajas en carbono	44

4.	Promover cambios en la conducta de los consumidores.....	45
5.	Acciones propuestas internacionalmente.....	45
D.	Acciones de mitigación en Honduras.....	45
VI.	Conclusiones	47
	Bibliografía.....	49
	Anexos.....	53
	Anexo 1 Factores de conversión.....	54
	Anexo 2 Requerimientos de Información	56
	Anexo 3 Graficas de los datos utilizados	59
Cuadros		
Cuadro 1	Sector transporte de acuerdo a clasificación CIU	14
Cuadro 2	Factores de conversión en Honduras.....	16
Cuadro 3	Importación de combustibles por año (MM bbl de 42 galones).....	18
Cuadro 4	Consumo de Combustible por año (MM bbl de 42 galones)	19
Cuadro 5	Parque Automotriz	20
Cuadro 6	Resultados de la prueba de Dickey–Fuller aumentada.....	33
Cuadro 7	Resultados de la regresión simple para gasolina.....	34
Cuadro 8	Resultados de la regresión simple para diésel.....	35
Cuadro 9	Modelo UECM, demanda de gasolina	37
Cuadro 10	Modelo UECM, demanda de diésel.....	37
Cuadro 11	Coefficientes de corto y largo plazo de precio e ingreso (modelo UECM).....	38
Cuadro 12	Elasticidades reportadas en estudios similares.....	38
Cuadro 13	Proyecciones para PIB y parque vehicular.....	39
Cuadro A.1	Factores de conversión de CO ₂	54
Cuadro A.2	Factores de emisión en EEUU	54
Cuadro A.3	Factores de emisión en la Unión Europea.....	55
Cuadro A.4	Modelos econométricos y no econométricos e información.....	56
Gráficos		
Gráfico 1	Emisiones de CO ₂ por cada subsector transporte.....	15
Gráfico 2	Consumo de principales combustibles (MM bbl de 42 galones)	19
Gráfico 3	Participación por tipo de combustible año 2014	19
Gráfico 4	Consumo por sector económico 2014	20
Gráfico 5	Participación por categoría automotriz	21
Gráfico 6	Proyecciones de demanda de gasolina per cápita 2013-2010	39
Gráfico 7	Proyecciones de demanda de diésel.....	40
Gráfico 8	Proyección de emisiones de CO ₂ para gasolina (factor de 2,303 kg/l).....	40
Gráfico 9	Proyección de emisiones de CO ₂ para diesel 2013-2021 (factor de 2,625 kg/l)	40
Gráfico A.1	Gráficas temporales consumo de combustible.....	59
Gráfico A.2	Gráficas temporales precios de combustible.....	59
Gráfico A.3	Ingreso per cápita y parque vehicular.....	59
Gráfico A.4	Autocorrelación y autocorrelación parcial (serie de consumo de gasolina)	60
Gráfico A.5	Autocorrelación y autocorrelación parcial (serie de consumo de diésel)	60
Gráfico A.6	Autocorrelación y autocorrelación parcial (serie de precio de gasolina)	60
Gráfico A.7	Autocorrelación y autocorrelación parcial (serie de precio de diésel)	61
Gráfico A.8	Autocorrelación y autocorrelación parcial (serie de ingreso per cápita).....	61
Gráfico A.9	Autocorrelación y autocorrelación parcial (serie de número de vehículos).....	61
Diagramas		
Diagrama 1	Estructura Modelo ASIF.....	28
Diagrama 2	Subsectores del modelo EDT	29

Glosario

ASIF	Activity-Structure-Energy Intensity-Fuel.
BAU	Bussiness as usual (lo acostumbrado).
BEP	Barriles Equivalentes de Petróleo.
CIIU	Clasificación Internacional Industrial Uniforme.
CNG	Compressed Natural Gas (gas natural comprimido, utilizado como combustible vehicular).
COP-21	XXI Conferencia de las Naciones Unidas sobre cambio climático.
ECM	Error Correction Model (modelo de series de tiempo que permite capturar el componente de largo plazo de la serie a regresionar).
EDT	Modelo de Demanda de Energía de Transporte.
GEI	Gases de Efecto Invernadero.
GHG	Greenhouse Gas (equivalente a GEI).
IEA	International Energy Agency (Agencia Internacional de Energía).
INDC	Intended Nationally Determined Contributions (Contribución Prevista Determinada).
IPCC	Panel Intergubernamental para el Cambio Climático.
LAC	América Latina y el Caribe.
LPG	Liquefied Petroleum Gas (gas licuado de petróleo, utilizado en vehículos).
LVDs	Vehículos Livianos.
NAMA	Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación.
UECM ECM	(Sin restricciones) Posee ventajas sobre el enfoque tradicional de ECM, y permite capturar el componente de largo plazo de la serie.
UNFCCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
WEM	World Energy Model (modelo desarrollado por la IEA).
WEPS	World Energy Projection System (sistema desarrollado por el departamento de energía de EEUU para proyecciones energéticas).

Antecedentes

La CEPAL, a través del Programa EUROCLIMA, busca contribuir a facilitar la integración de medidas de adaptación y mitigación del cambio climático en las políticas y los planes públicos de desarrollo a nivel nacional, regional y sub-regional en América Latina. El programa también busca brindar apoyo técnico a los países en temas de prioridad nacional y sectorial referidos al cambio climático.

De esta manera, a solicitud del gobierno de Honduras, se realizó el estudio “La demanda de energía del sector transporte y cambio climático en Honduras” con el que se busca brindar información que contribuya a la toma de decisiones en materia de medio ambiente y cambio climático.

Objetivos

Este proyecto tiene como *objetivo general* elaborar una síntesis de la evidencia teórica y empírica sobre la importancia de la energía en el sector transporte y su relación con el cambio climático, sus principales determinantes y las posibles trayectorias, así como la elaboración de políticas públicas que puedan contribuir a los procesos de mitigación de los gases de efecto invernadero. El cumplimiento de este objetivo considera alcanzar los siguientes *objetivos específicos*:

- Análisis de la literatura teórica y aplicada sobre la importancia de la demanda de energía del sector transporte y sus relaciones con las actividades económicas, el medio ambiente y el cambio climático a nivel internacional, y con énfasis en Honduras.
- Revisión de la literatura teórica y aplicada sobre los principales determinantes de la demanda de energía en el sector transporte.
- Exploración de las posibles trayectorias de la demanda de energía en el sector transporte con referencia al cambio climático en Honduras. Este análisis debe incluir metodología, estimaciones, escenarios, niveles de incertidumbre y proyecciones.
- Investigación de mecanismos e instrumentos de política aplicados y relacionados con el consumo de energía en el transporte y el cambio climático en Honduras.
- Proponer políticas públicas que puedan contribuir a los procesos de adaptación y mitigación para enfrentar el problema de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y los efectos del cambio climático asociados a la demanda del sector energético en Honduras.
- Apoyar la formación de capacidades nacionales en este tipo de estudios.

Este *Informe* presenta los resultados correspondientes a los objetivos 1 al 6 relacionados a la revisión de literatura teórica y empírica sobre cambio climático, la importancia de la demanda de energía del transporte y sus relaciones con las actividades económicas, el medio ambiente y el cambio climático a nivel internacional y su relación con Honduras.

Introducción

El cambio climático se ha convertido en un tema de relevancia a nivel mundial, lo cual quedó revalidado en la cumbre del clima, realizada en Francia a fines del 2015. En este encuentro y en un hecho histórico, se adoptó el primer compromiso vinculante de todas las naciones participantes para lograr que la temperatura global no crezca por sobre los dos grados centígrados, lo cual ya se había discutido en la cumbre de Copenhague de 2009. En París, se generó un soporte legal para exigir lo acordado, significando un gran paso en la lucha por detener el cambio climático.

“El cambio climático es consecuencia de una externalidad negativa global originada por las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera” (CEPAL, 2014). Todos los países han contribuido, en distinta medida, al aumento de la temperatura global a través de la generación de GEI, producto de las distintas actividades económicas que realizan. Estos gases están conformados por el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido de nitrógeno (N₂O), y los gases fluorados (gases F). De acuerdo a cifras del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), el CO₂ es el gas más importante en la generación de GEI con un 76% de participación, y es producido principalmente por la quema de combustibles fósiles, procesos industriales y forestales (como el cambio en el uso de suelo y deforestación), seguido del metano con un 16% (generado en la actividad agrícola, uso de energía, manejo de residuos, entre otras), el óxido de nitrógeno con un 6% (uso de fertilizantes y quema de biomasa), y los gases fluorados con el 2% restante (del proceso industrial, refrigeración, y otras actividades de consumo) (EPA, 2015).

De acuerdo a cifras de las Naciones Unidas¹, en los últimos 30 años se ha observado un crecimiento promedio anual de un 1,6% en las emisiones de CO₂. En el año 2015, los niveles de CO₂ a nivel mundial estuvieron en torno a los 35 millones de kilotoneladas (kton), de los cuales China aportó el 30%, seguido por Estados Unidos cuya participación fue del 15%. Más abajo se sitúan la India con un 6,6%, Rusia con 5% y Japón con un 4%. A nivel de América Latina y el Caribe, Brasil generó el 1,4% de las emisiones, seguido por México con un 1,3%. En el caso de Honduras, sus niveles de emisión alcanzaron los 8 447 kton, que corresponden a un 0,02% de las emisiones mundiales (Olivier, Janssens-Maenhout, & Peters, 2012). Estimaciones propias del gobierno de Honduras sugieren que en 2012 el país emitió 18 915 Gg de CO₂e, representando menos de un 0,1% de las emisiones mundiales con una contribución per cápita de 2,38 tCO₂e/hab/año.

¹ Información extraída de su sitio web <http://www.un.org/es/climatechange/facts.shtml>.

La principal fuente de CO₂ corresponde a la quema de combustibles fósiles para el suministro de energía y el transporte. A nivel mundial, el sector de energía (producción de electricidad, calefacción y uso industrial de energía) constituye un 48% de las emisiones, mientras que el sector transporte tiene una participación del 23%. De este último, el 75% corresponde a transporte terrestre. En el caso de Honduras, el 37,5% de las emisiones de CO₂ provienen del sector transporte (IEA, 2015a).

Aunque Latinoamérica contribuye en menor medida a la emisión de gases de efecto invernadero, el promedio de emisiones de origen energético de CO₂ fue de 3,04 toneladas per cápita en 2012 lo que se compara favorablemente con una media mundial de 4,81 toneladas per cápita², se espera que su contribución relativa aumente dado que existe una fuerte asociación positiva entre crecimiento económico y consumo de energía. Los escenarios futuros para LAC sugieren que, al aumentar los niveles de crecimiento económico también, aumentarán los niveles de emisión de gases de efecto invernadero lo que podría poner en riesgo los compromisos internacionales de cada país y por ende afectar el desarrollo sustentable.

La preocupación por la disminución de emisiones es relevante en todos los sectores consumidores de energía, sin embargo, el sector transporte es particularmente importante dada su contribución relativa. Las emisiones del transporte por carretera dependen en gran medida de la cantidad y características de los combustibles utilizados, así que entender la demanda de energía de este sector es fundamental para analizar el impacto que tendrá sobre el calentamiento global.

Para la formulación de políticas públicas en Honduras, es relevante conocer las trayectorias potenciales del consumo de combustible y las emisiones de GEI asociadas. También se requiere entender el comportamiento de los usuarios en cuanto al uso de combustible (en este caso el sector transporte) y así formular incentivos como: impuestos, subsidios, incentivar normas sociales, etc., que permitan incidir en las posibles trayectorias de consumo, adecuándolas al cumplimiento de los compromisos de reducción de GEI adquiridos por el país en el marco de convenios internacionales. Honduras, considera una reducción de un 15% en el nivel de emisiones con respecto al escenario base para el año 2030. Esta reducción en el nivel de emisiones contempla: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), mientras que los sectores considerados son energía, procesos industriales, agricultura y residuos. Es importante mencionar que el comportamiento de los consumidores de combustible, a través de sus decisiones de transporte, depende no solo de precios e ingreso sino de otros atributos asociados a las alternativas disponibles, tales como seguridad, comodidad, rapidez, confiabilidad, etc. Es por ello que las políticas de precios deben ser combinadas con otras políticas públicas que apunten a cambiar otros atributos relevantes de la oferta de transporte de la población. Dada la no disponibilidad de datos para realizar estimaciones econométricas en relación a estos elementos, este informe solo discute sus implicancias en forma conceptual.

Por otra parte, en Honduras las políticas públicas orientadas a disminuir el consumo de combustible tienen otros efectos positivos como el control de las principales fuentes de contaminación que enfrenta el país, mejorando la calidad de vida de sus habitantes.

Este estudio continúa con una descripción del sector transporte y las áreas que lo componen. Luego, se presenta la relación entre el sector y la demanda de energía, para finalmente establecer la vía en que éste sector se relaciona con el actual calentamiento global y las acciones de mitigación existentes. Posteriormente se discuten los principales métodos para estimar la demanda de combustible en el sector transporte, enfocados fundamentalmente en gasolina y diésel, se estiman los modelos con los datos disponibles y se discuten sus principales resultados, para terminar con un análisis sobre los instrumentos de política disponibles para gestionar el logro de los objetivos de reducción de emisiones de GEI.

² Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) con datos de Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) 2.0. 2015. Washington, DC: World Resources Institute. Available online at: <http://cait2.wri.org>.

I. Estado del arte

A. Definición y clasificación del sector transporte

El sector transporte constituye uno de los sectores más importantes para el desarrollo económico de los países, al permitir la distribución de bienes y servicios, pero también es una de las principales fuentes de externalidades al generar emisiones, ruido, accidentes y congestión (Scholl, Celse-L'Hoste, Quintanilla, & Linares, 2014). De acuerdo a la clasificación CIIU de actividades económicas, el sector “transporte y almacenamiento” (el cual ocupa las divisiones 49 a 53), está dividido en tres subsectores: transporte por vía terrestre y transporte por tuberías (división 49), del cual a su vez se distingue el transporte vía carretera y el transporte ferroviario; transporte por vía acuática, el que se conforma por transporte marítimo y por vías navegables (división 50); y el transporte por vía aérea (división 51). En el cuadro 1 se presenta una descripción más detallada de esta clasificación en sus divisiones 49-51(ONU, 2009).

En forma equivalente, la *International Energy Agency* (IEA) también divide al sector transporte en estos tres grandes subsectores, no obstante realiza una distinción respecto a si el transporte es de carácter doméstico o internacional, de ahí que de acuerdo a la IEA y siguiendo las descripciones de los subsectores en IPCC (2006), en el sector transporte se pueden distinguir 6 subsectores:

- Transporte terrestre: incluye el transporte por carretera y el ferroviario.
 - Transporte de carretera: incluye los llamados vehículos ligeros (LVDs) que corresponde a automóviles para el transporte de personas y cuya capacidad alcanza hasta las 12 personas, camiones livianos (con tonelaje de 3 500 a 3 900 kg., o menos), camiones pesados (con tonelaje entre 3 500–3 900 kg., o superior), buses (que transportan más de 12 personas), y motocicletas de dos o tres ruedas y cuyo peso no sobrepasa los 680 kg.
 - Transporte ferroviario: incluye el de pasajeros y el de carga.
- Navegación doméstica: incluye los viajes de embarcaciones que emplean combustible y que inician y terminan su recorrido en el mismo país.
- Transporte marítimo internacional: incluye los viajes de embarcaciones que emplean combustible y que inician su recorrido en un país y lo finalizan en otro.
- Aviación doméstica: incluye todos los vuelos que inician y terminan en un mismo país, ya sea con fines comerciales, privado, agrícola, etc.

- Transporte aéreo internacional: incluye todos aquellos vuelos que comienzan en un país y terminan en uno diferente.
- Otro transporte: incluye todas las otras actividades de transporte no consideradas en las demás clasificaciones, tales como el transporte vía tuberías, actividades de transporte realizadas en tierra en aeropuertos y puertos, entre otros.

Cuadro 1
Sector transporte de acuerdo a clasificación CIU

División	Grupo	Clase	Descripción
49			Transporte por vía terrestre y transporte por tuberías
	491	-	Transporte por ferrocarril
	-	4911	Transporte interurbano de pasajeros por ferrocarril
	-	4912	Transporte de carga por ferrocarril
	492	-	Otras actividades de transporte por vía terrestre
	-	4921	Transporte urbano y suburbano de pasajeros por vía terrestre
	-	4922	Otras actividades de transporte por vía terrestre
	-	4923	Transporte de carga por carretera
	493	4930	Transporte por tuberías
50			Transporte por vía acuática
	501	-	Transporte marítimo y cabotaje
	-	5011	Transporte de pasajeros marítimo y cabotaje
	-	5012	Transporte de carga marítimo y de cabotaje
	502	-	Transporte por vías de navegación interiores
	-	5021	Transporte de pasajeros por vías de navegación interiores
	-	-	Transporte de carga por vías de navegación interiores
51			Transporte por vía aérea
	511	5110	Transporte de pasajeros por vía aérea
	512	5120	Transporte de carga por vía aérea

Fuente: Extraído de ONU (2009).

Junto a esta división por subsectores, de igual forma la IEA realiza una clasificación de acuerdo a su uso, es decir, respecto a si el transporte es de pasajeros o de carga (mercancías). Para el caso del transporte de pasajeros, se incluyen los traslados por el sector carretera, ferroviario, marítimo/fluvial, y aéreo. En el caso del transporte de carga, se incluye el de mercancías a través de vehículos ligeros, vehículos pesados, vía ferroviaria y embarcaciones (IEA, 2015b).

B. Demanda de energía del sector transporte

Para el 2011, el consumo de energía del total mundial para el sector transporte fue del 27%, donde el subsector de transporte terrestre (por carretera) abarca cerca del 90% transporte (IEA, 2015b). Para su funcionamiento, el sector depende casi exclusivamente del uso del petróleo y en menor medida de otras fuentes como el gas natural, energías renovables (etanol y biodiesel), electricidad y carbón.

De acuerdo a Kahn Ribeiro et al. (2007), el 95% de la energía utilizada en este sector proviene del petróleo (gasolina, diésel, queroseno y jet fuel). Dicha dependencia se relaciona con el hecho de que el subsector que más demanda energía es el de transporte terrestre, donde los vehículos ligeros y los camiones abarcan más del 50% de la energía demanda.

En 2013, del total del petróleo consumido a nivel mundial, el 63,8% fue realizado por el sector transporte. En tanto, solo un 6,9% del total de gas natural consumido es demandado por dicho sector (IEA, 2015c). Dado lo anterior, el sector transporte y en especial el transporte de carretera es clave en la demanda global de petróleo, principalmente porque la mayor parte de las formas de transporte funciona con motores de combustión interna.

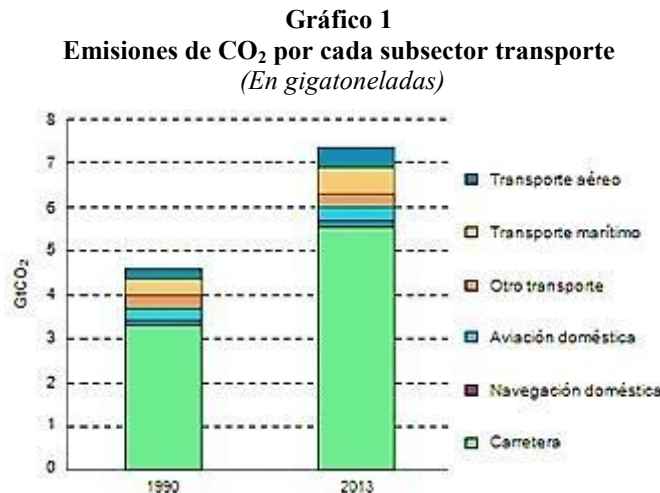
Por ejemplo, durante el 2014 en Estados Unidos, el 92% de la energía empleada en el sector transporte provino del petróleo y sus derivados, 5% de biocombustibles y 3% del gas natural. Dentro de los derivados del petróleo, la gasolina fue la principal fuente energética con un 56% de participación, siendo empleada en automóviles, motocicletas, y camiones livianos. Por su parte, los camiones pesados, buses y trenes usan regularmente diésel, cuya participación alcanza el 22% del consumo energético en transporte. En el caso del transporte aéreo, su principal fuente energética es el queroseno, que cubre cerca de un 11% de la demanda energética (EIA, 2016a).

A nivel latinoamericano, la predominancia del petróleo como fuente energética del sector transporte también es evidente, no obstante, el uso de fuentes no basadas en petróleo ha ido en aumento. De acuerdo a la IEA (2009), países como Brasil, han incrementado el uso de biocombustibles, gas natural comprimido (CNG) y gas licuado de petróleo (LPG).

C. Relación del sector transporte y el cambio climático

Debido a que el sector transporte es altamente dependiente de los combustibles fósiles para su funcionamiento, su contribución a la emisión de gases con efecto invernadero se realiza a través de la combustión, liberando CO₂ principalmente.

A nivel de subsectores, en el año 2013 el transporte terrestre produjo 5 547 millones de toneladas de CO₂, siendo la principal fuente de producción de este GEI. El transporte marítimo internacional generó 608.83 millones de toneladas y el transporte aéreo internacional 490.35 millones de toneladas. Entre los subsectores de navegación doméstica, aviación doméstica y otro transporte, aportaron 1 837.9 millones de toneladas de CO₂ (IEA, 2015a). Esta predominancia del transporte terrestre se puede observar en el gráfico 1, donde además se aprecia la evolución del nivel de emisiones por cada subsector desde 1990 hasta el 2013.



Fuente: Extraído de OECD/IEA (2015a).

Adicionalmente, si se descompone la fuente de las emisiones de CO₂ del sector transporte por tipo de combustible empleado, el predominio del petróleo es significativo. De las emisiones totales del año 2013 por parte de este sector, que alcanzaron las 7 384.9 millones de toneladas, donde el 97% provino del uso de petróleo y sus derivados y en el caso de transporte de carretera, el 98,5% de las emisiones se generan a partir del uso del petróleo (IEA, 2015a).

Estas cifras dejan en evidencia la preponderancia del uso de combustibles fósiles en el sector transporte, cuya combustión genera el principal gas de efecto invernadero (CO₂). A nivel temporal, se ha evidenciado un incremento en la demanda energética para el movimiento de pasajeros y de carga, sobre todo en países en desarrollo que han visto incrementado sus niveles de ingreso y población.

D. Factores de emisión

Como fue señalado anteriormente, el sector transporte es responsable de una proporción significativa de emisiones de gases con efecto invernadero, por lo que desde un punto de vista de política pública es deseable normar dichas emisiones para cumplir con los objetivos climáticos nacionales. En este contexto, el problema fundamental radica en la conversión del combustible utilizado en emisiones de GEI. Así, no sólo es relevante la cantidad de combustible utilizado sino que además existen otras variables como tipo y características del vehículo, particularidades del combustible, infraestructura vial y tipo de conducción, que determinan finalmente el nivel de emisiones de GEI (Mellios, Hausberger, Keller, Samaras, & Ntziachristos, 2011).

Los factores de emisión se calculan independientemente por tipo de GEI. En el caso del CO₂, la emisión se calcula con respecto al combustible consumido, utilizando diversos factores de emisión dependiendo del poder calorífico de los tipos de combustible, mientras que para el caso del CH₄ y N₂O, el nivel de emisiones depende del tipo de combustión que se genere, así como de los sistemas de control de emisiones existentes, por lo que el uso de factores de emisión que no consideren la tecnología del vehículo tienen asociado un alto nivel de incertidumbre.

En el caso del CO₂, los factores de emisión transforman el consumo de combustible en kilos por unidad de energía típicamente terajoule (TJ). Por otro lado, y considerando que el nivel de emisiones de CH₄ y N₂O es función del tipo de combustión, es necesario desarrollar ensayos de laboratorio con distintos tipos de vehículos (livianos, pesados, de trabajo), utilizando diversos combustibles (gasolina, diésel, LPG), y bajo diversas formas de control (con convertidor catalítico, sin convertidor). En el anexo 1 se presentan los diversos factores de emisión utilizados en EEUU y la Unión Europea, mientras que para Honduras los factores de conversión se presentan en el cuadro 2.

Finalmente las estimaciones de emisiones en Honduras se realizan usando la siguiente ecuación:

$$EM_{ct}(Gg) = C_{ct}(TJ) * FC_c \left(\frac{tC}{TJ} \right) * FO_c * \frac{44}{12} \frac{1}{1000}$$

Donde EM_{ct} son las emisiones, C_{ct} es el consumo, FC es el factor de carbono, FO es factor de oxidación, c es el tipo de combustible, y t es el año.

Cuadro 2
Factores de conversión en Honduras

Factor	Carbón	LPG	Gasolina	Queroseno	Diésel	Fuel oil	Coque	Carbón vegetal	Consumos centrales
Factor de carbono (tC/TJ)	25,50	17,20	18,90	19,50	20,20	20,20	25,80	-	20,90
Fracción carbono oxidado	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Fuente: Estimaciones de las emisiones históricas 2005-2012 del sector energía. SERNA (2015).

II. Energía, transporte y cambio climático en Honduras

En esta etapa se presenta una síntesis de la situación energética de Honduras, la cual considera el contexto económico y social, información sobre la red vial y portuaria, información sobre consumo de combustible, evolución del parque automotriz y emisiones de gases con efecto invernadero. La información relacionada con los últimos tres puntos provienen de los documentos: “Elaboración de la política energética y Plan Energético Nacional al 2030: Diagnóstico energético del sector transporte” elaborado por la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA, 2009), y de las “Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMA) en los sectores de agricultura, transporte y eco-fogones en Honduras” elaborado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en 2015 (Zelaya et al., 2015) y de datos proporcionados por la SERNA en marzo de 2016.

Honduras se localiza en el área centro norte de América Central, posee una extensión territorial de 112 492 km², con una población de 8.3 millones de personas, de las cuales aproximadamente un 50% vive en zonas rurales. A nivel administrativo, Honduras está dividido en 18 departamentos, de los cuales Cortés, Francisco Morazán, y Choluteca concentran el 53% de la población. En términos económicos, el total de la fuerza de trabajo ocupada la componen 3.4 millones de personas, siendo la agricultura y el comercio sus principales demandantes con 1.9 millones de personas empleadas. Con respecto a los niveles de formación, sólo el 10% de la fuerza laboral tiene estudios superiores³.

Honduras está clasificado como un país de ingreso medio bajo, con un PIB per cápita de 4 570 dólares (PPA). De acuerdo al Banco Mundial (BM), el 63% de la población vive en situación de pobreza, y en muchas zonas rurales el 60% de los hogares se encuentran en pobreza extrema⁴. Con respecto a la evolución de la actividad económica, durante el año 2015 el PIB creció un 3,5% (con una tasa de inflación de 3,2%), siendo los principales sectores económicos: los servicios, la agrícola y la industria manufacturera⁵.

Honduras debe importar petróleo para suplir sus necesidades energéticas y por tanto la demanda de transporte. Se estima que, del total de hidrocarburos utilizados, un 36% corresponde a demanda para generación eléctrica. Del total de energía generado, más del 50% proviene de fuentes térmicas, seguido por la generación hidráulica de operadores públicos (24%) y la generación hidráulica privada (9%). Con respecto al consumo de electricidad, el sector residencial es el principal consumidor con el 28% de la demanda, mientras que el sector comercial e industrial consume el 37% de la energía eléctrica. Un

³ http://www.bch.hn/honduras_en_cifras.php.

⁴ <http://www.bancomundial.org/es/country/honduras/overview#1>.

⁵ http://www.bch.hn/sector_real.php.

aspecto a destacar es la precariedad del sector eléctrico, donde las pérdidas por transmisión y distribución son mayores al consumo agregado del sector industrial, alumbrado público y gubernamental³. Por otro lado, la importación de combustibles y lubricantes representa, en promedio, un 21% de las importaciones totales durante el período 2008–2015, con un valor de 1 800 millones de dólares. Así, los volúmenes de importación de hidrocarburos ejercen presión sobre la balanza comercial, que durante el período 2010–2015 ha presentado un déficit promedio del 18,9%⁶.

Dada la relevancia de los sectores agrícola e industrial, la red caminera cumple un rol fundamental al conectar a los productores con los centros de consumo, tanto internos como externos. Para el 2014, el país contaba con 15 480 km de vías oficiales (que cumplen con algún estándar mínimo de seguridad), lo cual significa un crecimiento del 5% respecto a la red existente en 2012. En cuanto al tipo de vía, sólo un 24% está pavimentado no obstante, el nivel de vulnerabilidad es bajo ya que sólo un 12% del total es transitable sólo en verano (1 908 km). Con respecto a la infraestructura aeroportuaria, Honduras cuenta con cuatro aeropuertos internacionales localizados en San Pedro Sula, Tegucigalpa, Roatán y La Ceiba que en conjunto transportaron a 1.7 millones de pasajeros durante el 2013⁷. Referente al transporte marítimo, Puerto Cortés es uno de los más importantes de Centroamérica, movilizandando el 90% del tráfico marítimo hondureño⁸.

A. Consumo de combustible

Según información de Instituto Nacional de Estadística (INE, 2015) durante el período 2010–2014 las importaciones de combustible se incrementaron en un 14,46% pasando de 20 228 miles de barriles en 2010 a 23 154 miles de barriles en 2014 (véase el cuadro 3) el mayor crecimiento se produce en el período 2012–2013, donde las importaciones presentan un crecimiento del 13,3%. Al analizar la evolución anual de las importaciones se observa que las de diésel y fuel oil representan más del 50% de las importaciones totales durante todo el período de análisis. Entre el 2010–2014 el consumo total de combustibles creció un 13,5%, donde el gas licuado de petróleo (LPG) y diésel reportan las principales tasas de crecimiento, con el 58 y 14% respectivamente. En 2014, a nivel de productos, el consumo de gasolinas fue de 4 667 000 barriles equivalentes de petróleo (BEP), mientras que el consumo de diésel fue de 6 293 000 BEP (véase el cuadro 4). Durante el período se observa una tendencia al alza en el consumo total de los principales combustibles. Como se observa en el gráfico 2, tanto el fuel oil como el diésel presentan las mayores tasas de crecimiento, mientras que las gasolinas presentan un comportamiento estable durante el período de análisis. La tabla también muestra las altas tasas de crecimiento reportadas por el LPG.

Cuadro 3
Importación de combustibles por año (MM bbl de 42 galones)

Producto	2010	2011	2012	2013	2014
Gasolina Súper	2 360	2 480	2 265	2 583	2 538
Gasolina Regular	1 802	1 882	1 753	1 931	1 716
Diésel	5 111	5 127	5 497	6 024	5 702
Kerosene	301	374	321	581	540
Fuel Oil	5 880	6 312	6 499	6 613	6 819
Av Jet	363	319	247	21	0
Av Gas	18	18	5	27	26
LPG	4 386	4 285	4 150	5 708	5 813
Asfalto	59	0	0	0	0
Total	20 280	20 797	20 737	23 488	23 154

Fuente: Elaboración del autor con información del INE (2015).

⁶ http://www.bch.hn/sector_externo.php.

⁷ http://www.bch.hn/honduras_en_cifras.php.

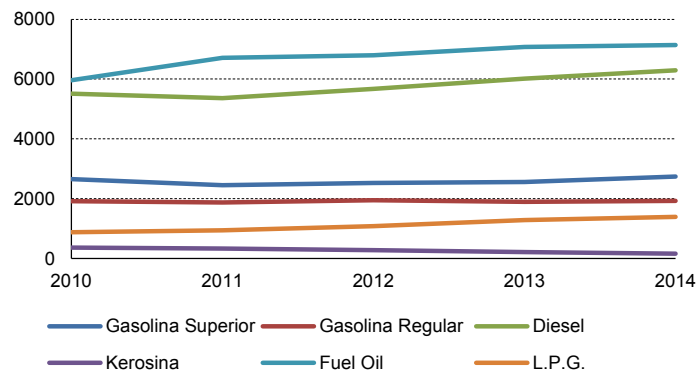
⁸ <http://www.enp.hn/web/puerto-cortes.html>.

Cuadro 4
Consumo de Combustible por año (MM bbl de 42 galones)

Producto	2010	2011	2012	2013	2014
Gasolina superior	2 650	2 446	2 521	2 555	2 745
Gasolina regular	1 913	1 877	1 952	1 894	1 922
Diésel	5 512	5 367	5 668	6 013	6 293
Kerosene	361	332	276	214	165
Fuel oil	5 960	6 707	6 800	7 075	7 136
AV jet	376	412	474	400	458
Av gas	4	0	33	0	4
L.P.G.	877	945	1 083	1 284	1 391
Asfalto	66	136	0.15	0	4
Total	17 719	18 223	18 806	19 435	20 120

Fuente: Elaboración del autor con información del INE (2015).

Gráfico 2
Consumo de principales combustibles (MM bbl de 42 galones)

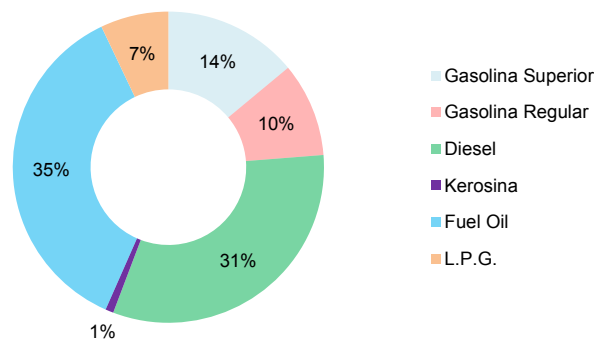


Fuente: Elaboración del autor con información del INE (2015).

Consistentemente el fuel oil representa una fracción mayoritaria con un mínimo de 34% en 2010, hasta un máximo de 37% en 2011, con una participación promedio de 36% para el período bajo análisis. El gráfico 3 presenta la participación de cada tipo de combustible para el 2014.

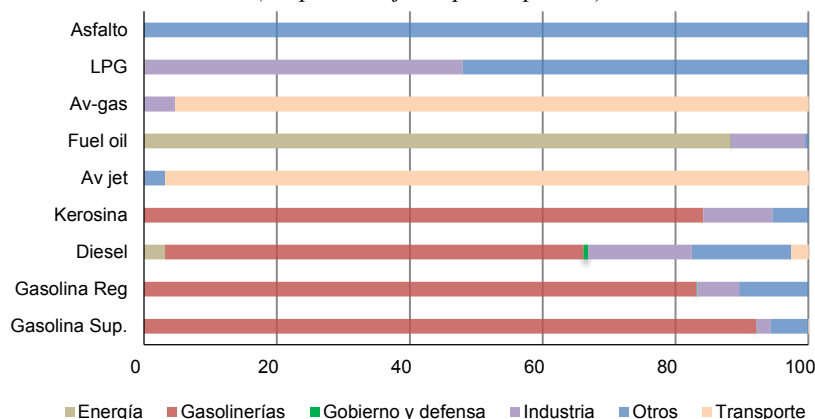
A nivel de usuarios, según información de la SERNA, el principal consumidor de combustible son las gasolineras, seguido por generación eléctrica e industria. Con respecto a los combustibles más utilizados (fuel oil y diésel), los principales consumidores son el sector energía y las gasolineras, con el 88 y 63% respectivamente (para más detalles véase el gráfico 4).

Gráfico 3
Participación por tipo de combustible año 2014



Fuente: Elaboración del autor con información del INE (2014).

Gráfico 4
Consumo por sector económico 2014
(En porcentaje de participación)



Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2016).

B. Evolución del parque automotriz

El parque automotriz ha mostrado un continuo aumento durante los últimos años (INE, 2014). Por ejemplo, durante el período 2009-2013 el parque se expandió un 47% pasando de 912 357 vehículos en 2009, a 1 350 136 vehículos en 2013. A nivel de categoría, la mayor proporción es representada por pick-up, turismo, y motocicletas, las que en conjunto representan cerca del 75% del total de vehículos (ver cuadro 5).

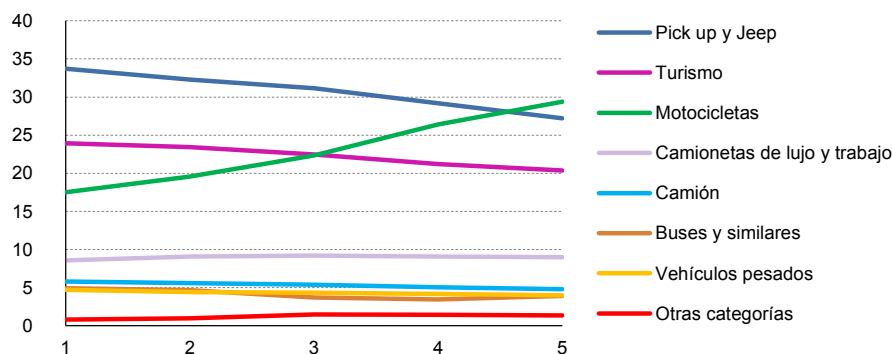
Cuadro 5
Parque automotriz

Categoría	2009	2010	2011	2012	2013
Pick up y Jeep	307 703	327 148	343 819	355 943	367 468
Turismo	218 538	237 431	247 625	258 688	274 707
Motocicletas	159 855	198 232	246 680	322 054	396 798
Camionetas de lujo y trabajo	78 074	92 043	101 316	110 681	121 401
Camión	52 939	56 510	59 218	61 719	64 714
Buses y similares	44 955	47 235	40 605	42 037	52 961
Vehículos pesados	42 918	44 880	47 874	50 789	53 934
Otras categorías	7 375	9 705	16 054	17 619	18 153
Total	912 357	1 013 184	1 103 191	1 219 530	1 350 136

Fuente: Elaboración del autor con información del INE (2014)

El detalle a nivel de categoría, muestra estabilidad en cuanto a la participación del transporte de mercancías y personas (camiones, buses, y vehículos pesados). Por otro lado, destaca la baja de pick-up y turismo, y el alza en el número de motocicletas cuyo número se duplicó pasando de 159 855 en 2009 a 396 798 en 2014 (véase el gráfico 5).

Gráfico 5
Participación por categoría automotriz
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración del autor con información del INE (2014).

C. Emisiones de gases con efecto invernadero

Como fue explicitado en las primeras secciones de este informe, existe una relación directa entre el sector transporte, la emisión de gases con efecto invernadero, y las consecuencias sobre el calentamiento global. Esta situación también se reproduce en Honduras donde el 50% de las emisiones del sector energía son atribuibles al sub-sector de transporte terrestre, con casi 2 100 Gg de CO₂e por año (SERNA, 2008). Las emisiones en el sector transporte han crecido significativamente y se espera que continúen creciendo dado el aumento del parque automotriz en el país. Actualmente, Honduras cuenta con casi cuatro veces más vehículos que en el año 2000, para el cual se tiene la última estimación oficial de emisiones de GEI. Por ende, se estima que las emisiones de GEI del sub-sector de transporte terrestre se han duplicado en este tiempo, y deben ya superar los 4 000 Gg de CO₂e. Es por ello que el estudio “Identificación y priorización de Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMA) en los sectores de agricultura, transporte y eco-fogones en Honduras” (Zelaya et al., 2015) concluye que el potencial de mitigación del sector transporte en Honduras es muy alto.

Se debe tener en cuenta que dada su poca importancia relativa en el contexto mundial de emisiones y por ser uno de los países más afectados por eventos climáticos extremos, la prioridad para Honduras es la adaptación al cambio climático. Aun considerando estos elementos, el gobierno se comprometió con una reducción del 15% de sus emisiones respecto al escenario BAU (business as usual) para el año 2030. En este contexto el gobierno, a través de la SERNA, ha generado un documento con predicciones preliminares de emisiones del sector para los años 2013-2030, el cual considera combustibles como carbón, GLP, gasolina, queroseno, diésel, fuel oil, coque, carbón vegetal, fuel oil (bunker) consumido por las centrales térmicas, leña, bagazo y otros combustibles vegetales. Las estimaciones para el país muestran que para el 2030 Honduras emitirá 28 922 Gg de CO₂e.

Los cálculos se basaron en las cifras de crecimiento económico, poblacional y en las tendencias de emisiones históricas. En algunos casos particulares se recurrió a juicio de expertos, como la Dirección General de Energía. Un componente central fue el consumo de combustible para la generación de electricidad, en el cual se prevee un consumo de combustible cercano a los 100 000 TJ al 2030 representando un incremento del 150% respecto del 2010. En el caso particular del consumo de vehículos el informe “Estimaciones de las proyecciones de las emisiones de la serie 2013-2030 del sector energía” utiliza tanto la opinión de expertos como un análisis de regresión simple entre el consumo de gasolina, diésel y LPG, usando una serie proyectada del PIB y la serie de población también proyectada. Los resultados sugieren un consumo del orden de 20 000 TJ para el año 2030, un 100% superior al del 2010 (siendo significativamente más conservadora que la estimación de los expertos que sugieren un consumo del orden de 32 000 TJ para el 2030).

III. Determinantes de la demanda de energía en transporte

A. Proyecciones de demanda de energía

Dada la relación directa entre la demanda de energía del sector transporte y la emisión de GEI, y por lo tanto con el fenómeno del cambio climático, es necesario definir escenarios de crecimiento, o proyecciones, sobre la demanda futura de energía del sector transporte.

Las diversas estimaciones para proyectar la demanda de energía en el futuro se pueden clasificar en: modelos integrados y modelos sectoriales. En el primer caso, la mayoría de los análisis se realizan a nivel global, o regional, y el principal foco de análisis tiene relación con entender el impacto de políticas macro-económicas (compromisos de reducción de emisiones, o instauración de instrumentos fiscales) en la demanda futura de combustible, y en el potencial de mitigación de gases de efecto invernadero. Si bien este tipo de modelos permite realizar proyecciones sobre demanda futura de energía, su escala de análisis no permite evaluar el impacto de cambios de comportamiento que se podrían generar como consecuencia de los cambios estructurales que sufriría el sector transporte a consecuencia del cambio tecnológico (disminución en los tiempos de viajes, cambios en la eficiencia de los vehículos, cambios culturales, entre otros). Por otro lado, los modelos sectoriales permiten entender en forma detallada cómo se relacionan los diversos determinantes de la demanda de transporte, y en este caso si sería posible evaluar cambios de comportamiento generados por cambios tecnológicos (IPCC, 2014).

Con respecto a los modelos integrados, son dos los más utilizados a nivel global:

- World Energy Projection System Plus (WEPS+), desarrollado por el Departamento de Energía de EEUU.
- World Energy Model (WEM), desarrollado por la Agencia Internacional de Energía.

El WEPS+ es un modelo de predicción de energía de mediano plazo, que permite proyectar la oferta y demanda de energía, y sus precios, a nivel país o región. Para lo anterior utiliza una serie de supuestos con respecto a la evolución de la economía global, situación de los mercados internacionales de energía, y políticas energéticas, entre otros factores (EIA, 2016b).

Por otro lado, el WEM es un modelo de simulación diseñado para replicar el funcionamiento de los mercados energéticos, y es la herramienta principal para generar información detallada por sector y región para los escenarios del World Energy Outlook (WEO) (IEA, 2015d).

Por otro lado, existe una amplia gama de modelos sectoriales de transporte que permiten analizar la demanda de energía, entre ellos podemos destacar los modelos econométricos, redes neuronales y algoritmos genéticos. La demanda de energía en transporte no solo depende de factores estrictamente económicos, sino de factores socio-demográficos que pueden determinar la demanda de energía en algunos sectores. Por otra parte, la composición del sector transporte hace que cada componente posea características especiales. No es lo mismo estimar la demanda de energía para carretera o transporte aéreo que estimar la demanda de energía para transporte de pasajeros versus transporte de carga. A continuación, se discuten algunos de estos modelos, con énfasis en aquellos que son relevantes para esta consultoría.

B. Modelos de demanda de energía de transporte

La estimación de demanda por combustible es muy variada según los países, el tipo de datos y las metodologías utilizadas (Dahl, 2012; Galindo, Samaniego, Alatorre, Ferrer, & Reyes, 2015). Dahl (2012) presenta un resumen de estimaciones de elasticidades de alrededor de 240 estudios para diversos países, donde evalúan el cambio en las elasticidades de acuerdo a los niveles de precios e ingreso per cápita de cada país. Por su parte en Galindo et al. (2015) presentan un meta análisis de estimaciones de demanda y elasticidad precio e ingreso para 63 estudios que cubren 343 elasticidades precio y 227 elasticidades ingreso.

Como cualquier otro bien, la demanda por energía o combustibles debe seguir las mismas “reglas” derivadas de la teoría económica del consumidor. Se debe entender que la demanda por energía o combustibles es una demanda “derivada”, es decir, los consumidores perciben utilidad por el servicio de transporte que es el resultado de combinar determinados medios (automóvil, transporte público, etc.) con combustible. Es decir, se deriva de la demanda por transporte (Kayser, 2000). Al ser una función que proviene del comportamiento de optimización del consumidor, la función de demanda en primer lugar depende del precio del bien, del precio de bienes relacionados (sustitutos y complementarios) y del ingreso de los consumidores (sean individuos o grupos). Adicionalmente, es posible incluir otras variables tanto explicativas como las sociodemográficas, además de variables subjetivas asociadas a percepciones y actitudes, tipos de vehículos, uso de automóvil, regulaciones, densidad poblacional, niveles de urbanización, stock de vehículos del hogar, participación femenina de la fuerza laboral, producción industrial, estacionalidad, clima, volatilidad de precios, distribución del ingreso, eficiencia de los vehículos, etc. (Dahl, 2012).

En general la demanda de energía, definida en términos del tipo de combustible utilizado se expresa como una relación funcional de la forma:

$$G_{it} = f(Y_{it}, P_{git}, P_{it}, Z_{it})$$

Donde G_{it} es la demanda observada de gasolina u otro tipo de combustible por la unidad de análisis i (individuos, países, distritos) en el período t , Y_{it} es una medida del ingreso de la unidad de análisis i en el periodo t , que en muchos casos corresponde al PIB o PIB per cápita del país o al ingreso de las familias, P_{git} es el precio real de la gasolina o combustible, P_{it} es precio de bienes relacionados, sustitutos o complementarios, y Z_{it} son otras variables explicativas de interés.

Los modelos difieren en la forma que se recolectan los datos, por ejemplo: datos individuales o agregados, series de tiempo o cortes transversal o datos de panel, y también difieren en la forma econométrica en que se estima la demanda lo cual depende del tipo y calidad de los datos (Kim, Han, & Moon, 2011). Algunos modelos usan Mínimos Cuadrados Ordinarios (Archibald & Gillingham, 1980; Banaszak, Chakravorty, & Leung, 1999; Berndt & Botero, 1985; Birol & Guerer, 1993; Chakravorty, Fesharaki, & Zhou, 2000; Dahl, 2001; López & Pérez, 2000), otros trabajos usan modelos de series de tiempo con cointegración y modelos de corrección de error (Akinboade, Ziramba, & Kumo, 2008; Alves & da Silveira Bueno, 2003; Cheung & Thomson, 2004; De Vita, Endresen, & Hunt, 2006; Polemis, 2006; Rao & Rao, 2009; Sa'ad, 2009; Sa'ad, 2009) o ecuaciones simultaneas (Belhaj, 2002; Radchenko & Tsurumi, 2006).

Es importante destacar que mucha de la literatura prospectiva de demanda de energía no utiliza estimaciones econométricas sino escenarios basados en proyecciones de crecimiento según datos históricos. En cualquiera de estos casos para estimar el nivel de emisiones se utilizan los factores de emisión explicados anteriormente. A continuación, se presentan algunos de estos modelos.

1. Modelos de series de tiempo (datos agregados)

Un trabajo simple de determinación de demanda de combustible es desarrollado por Birol and Guerer (1993). En él se presenta un modelo de demanda de combustible para cuatro países (Turquía, Marruecos, Malasia y Pakistán), en función del PIB per cápita, precio del combustible y el efecto temporal (rezago de la variable dependiente) para gasolina y diésel a través de series de tiempo. El modelo de Birol and Guerer (1993) y también de Chakravorty et al. (2000) caracteriza la demanda de combustible como una relación entre ésta y su precio, el ingreso del país y un efecto temporal. Los autores estiman por separado la demanda de gasolina y diésel, considerando que pueden existir diferencias sustanciales entre éstas.

El primer modelo permite estimar la demanda de gasolina:

$$\ln G_t = c + \alpha \ln Y_t + \beta \ln P_{g,t} + \delta \ln G_{t-1}$$

Donde G_t es la demanda observada de gasolina en el sector transporte en el período t , Y_t es el PIB o PIB per cápita del país, $P_{g,t}$ es el precio real de la gasolina y G_{t-1} es la demanda de gasolina en el período anterior, lo que permite capturar efectos temporales. Este mismo es usado para estimar la demanda de diésel, usando D_t , la demanda de diésel en el período t como variable dependiente, y $P_{d,t}$, el precio real del diésel, y D_{t-1} , la demanda observada de diésel en el periodo anterior como variables explicativas. En el caso en que se incluyan variables rezagadas (tanto de la variable dependiente como de variables explicativas), estos modelos son denominados como de ecuaciones dinámicas, por el contrario sí no se incluyen variables rezagadas el modelo se llaman modelos estáticos (Reyes, Escalante, & Matas, 2010). Los modelos con rezagos permiten estimar elasticidades de demanda tanto de corto como de largo plazo (Dahl, 2012).

Si bien el modelo de Birol and Guerer (1993) es útil por su sencillez, el PIB de un país no es el único factor que incide sobre la demanda de combustible. Wohlgemuth (1997) muestra que la demanda de combustible depende de factores económicos, sociodemográficos y geográficos, así como del tipo y modo de transporte. Estos factores interactúan entre sí y muchas veces existen dependencias cruzadas. Por ejemplo, la demanda de combustibles depende de la distancia de viaje y factores de eficiencia. Pero a su vez, la distancia recorrida también depende del costo de viaje, y este último de los factores de eficiencia. Así, la demanda de combustible (y por ende de energía) en un modelo de transporte depende de la eficiencia, en una dimensión directa y otra indirecta (a través de la distancia de viaje). Por otro lado, la eficiencia depende de factores económicos, como el precio del combustible, factores de políticas y la penetración de combustibles alternativos. Wohlgemuth (1997) evidencia la complejidad del sistema de transportes, y los desafíos al momento de estimar la demanda de energía en el sector y los factores que inciden sobre ésta.

Dado que estos modelos regularmente usan series de tiempo, es posible incluir una variable dummy por mes para capturar efectos estacionales (m_t). El uso de las variables en logaritmos y no en niveles se debe a que muchos autores sostienen que de esta forma las variables son estacionarias (Kim et al., 2011), una propiedad necesaria en datos de series de tiempo y que es regularmente evaluada usando el test de raíz unitaria de Dickey-Fuller. Si las variables no son estacionarias pero están cointegradas la estimación de modelos estáticos puede ser interpretada como elasticidades de largo plazo. Otros estudios que han considerado el tema de cointegración incluyen los trabajos de Akinboade et al. (2008), Cheung and Thomson (2004), De Vita et al. (2006), Gomez (2010) y Polemis (2006).

Por otra parte, si los datos son de diversas regiones para el mismo periodo de tiempo se puede explorar la naturaleza de panel de estos (Baltagi, Bresson, Griffin, & Pirotte, 2003; Wadud, Graham, & Noland, 2009, 2010). Kim et al. (2011) reportan diferencias importantes entre series de tiempo agregadas y un panel de datos para cifras agregadas a nivel regional.

La estimación de estos modelos requiere datos temporales de la demanda de gasolina y diésel, el PIB del país, la población (para obtener PIB per cápita) y los precios del combustible y en muchos casos, se realiza por medio de mínimos cuadrados ordinarios (OLS), variables instrumentales o métodos de panel.

Un modelo similar propone el trabajo de Polemis (2006). En este, se distingue entre la demanda de gasolina y diésel, pero se asume una posible relación entre la demanda de combustible y los precios cruzados. Es decir, la demanda de gasolina puede ser influenciada por el precio del diésel y viceversa.

Así, el modelo propuesto es:

$$\ln G_t = a_0 + a_1 \ln GDP_t + a_2 \ln RPG_t + a_3 \ln RPD_t + a_4 TREND + \mu$$

Donde: G_t es la demanda observada de gasolina, GDP_t es el PIB per cápita real, RPG_t es el precio real de la gasolina, RPD_t es el precio real del diésel, $TREND$ es una variable de tendencia, y μ es el error estocástico.

El modelo para diésel es similar:

$$\ln D_t = b_0 + b_1 \ln GDP_t + b_2 \ln RPD_t + b_3 \ln RPG_t + b_4 \ln PARKD + \mu$$

Donde D_t es la demanda observada de diésel, y $PARKD$ es la proporción de vehículos alimentados por diésel en el país.

Alves y da Silveira Bueno (2003) entre otros (Akinboade et al., 2008; Dahl, 2012; De Vita et al., 2006; Rao & Rao, 2009; Reyes et al., 2010; Sterner, Dahl, & Franzen, 1992) contribuyen al análisis de la demanda de combustible incorporando un componente de cointegración, proponiendo un modelo de corrección de error para estimar las elasticidades precio de corto y largo plazo de la demanda de gasolina en Brasil. El modelo inicial corresponde a:

$$\ln C_t = \beta_0 + \beta_1 \ln Y_t + \beta_2 \ln P_t + \beta_3 \ln A_t + e_t$$

Donde C_t es el consumo de gasolina, Y_t el PIB per cápita, P_t es el precio de la gasolina, A_t es el precio del alcohol (como sustituto), y e_t es el residuo. A través de este, se estima el modelo final de corrección de error:

$$\Delta \ln C_t = \alpha_0 + \alpha_1 \Delta \ln Y_t + \alpha_2 \Delta P_t + \alpha_3 \Delta \ln A_t + \alpha \hat{e}_{t-1} + \varepsilon_t$$

Donde \hat{e} es el predictor del residuo, y ε es el error estocástico del modelo de corrección de error.

Estos modelos requieren información temporal de demanda de gasolina y diésel, sus respectivos precios y el PIB o PIB per cápita del país. Además de conocer la proporción de vehículos alimentados por diésel.

Los trabajos de Haldenbilen y Ceylan (2005), Murat y Ceylan (2006), y Ceylan, Ceylan, Haldenbilen y Baskan (2008) modelan la demanda de energía en el sector transporte de Turquía utilizando modelos alternativos, como algoritmos genéticos, redes neuronales o algoritmos heurísticos. Para ello, utilizan como variables independientes de la demanda de energía el PIB del país, población y la proporción veh-km. Por su parte, Ou, Zhang, y Chang (2010) se enfocan al transporte de carretera, presentan un modelo más completo en términos de factores determinantes de la demanda de combustible en el sector en el cual se distingue entre tipo de vehículos y combustibles. Para cada uno de estos la demanda de energía depende de la población de vehículos en cada período, la distancia recorrida y la eficiencia energética en km/MJ.

2. Modelos de corte transversal con datos individuales

Kayser (2000) estima la demanda como un problema de decisión conjunta entre el portfolio de vehículos del hogar y la cantidad de gasolina consumida. Nótese que esto es en el contexto de EEUU donde el uso del vehículo particular es significativo a nivel de hogares. En otros contextos de países menos desarrollados, es probable que sea necesario modelar no solo el portfolio de vehículos, sino las decisiones de tipo de transporte. El modelo de demanda de gasolina se especifica como:

$$\ln G_i = a_0 + a_1 \ln P_i + a_2 \ln m_i + a_3 a_2 \ln m_i^2 + a_4 \ln P_i \ln m_i + \sum_{j=5}^J a_j W_{ij} + \mu_i = X_i' \alpha + \mu_i$$

Donde: G_t es la demanda observada de gasolina, P_i es el precio de la gasolina, m_i es el ingreso de la familia. Esta estimación incluye un término cuadrático del ingreso y una interacción entre el precio y el ingreso que permite que la elasticidad varíe entre distintos niveles de ingreso, consistente con lo encontrado por Dahl (2012) en su meta análisis. Finalmente, W es un vector de otras variables de control.

La elección del automóvil es modelada como una decisión discreta entre tener o no tener uno o más automóviles en el hogar. Su especificación es la siguiente:

$$y_i = \gamma_0 + \gamma_1 P_i + \gamma_2 m_i + \gamma_3 p c_i + \sum_{k=4}^K \gamma_k W_{ik} + v_i = Z_i' \gamma + v_i$$

Donde, y_i toma el valor 0 si la familia no tiene automóvil y 1 en otros casos, $p c_i$ es el precio estimado del automóvil para la familia i , W_{ik} es un vector de características del hogar. Es importante destacar que una familia puede tener una demanda potencial por combustible pero no se observa consumo ya que no tiene un vehículo. Como las decisiones son simultáneas, no consumir gasolina puede ser el resultado de no tener carro, pero los cambios en la situación económica de la familia o en los precios de los automóviles (ambos favorables para el consumidor) aumentarán la demanda de este combustible. En otras palabras, el árbol de decisiones debe considerar que las familias primero deciden si tienen o no automóvil y luego, cuando condicionan esta elección, deciden cuanta gasolina consumir.

Kayser (2000) resuelve este problema usando el modelo tradicional de Heckman (1977) en dos etapas, que corrige el sesgo de selección. Primero se modela la decisión de participación con un modelo probit y luego se obtiene la razón inversa de Mill para ajustar la ecuación de demanda de gasolina por sesgo de selección. Es decir,

$$E(\ln G_i / y_i = 1) = X_i' \alpha + \rho \sigma_\mu \frac{\varphi(Z_i' \gamma)}{\Phi(Z_i' \gamma)} \quad \text{En que } \frac{\varphi(Z_i' \gamma)}{\Phi(Z_i' \gamma)} \text{ es la razón inversa de Mill}$$

La literatura de estimación de demanda con datos individuales es más escasa debido a las limitaciones para encontrar los datos adecuados en la escala necesaria para realizar las estimaciones (Archibald & Gillingham, 1980; Mannering & Winston, 1985). No obstante, realizar esfuerzos para recopilar datos a nivel individual es importante porque con estos es posible evaluar la efectividad y los impactos distributivos de muchas de las políticas que se desean implementar para cumplir con los objetivos de reducción de emisiones. Por ejemplo, si se desea fomentar un cambio de tecnología hacia vehículos híbridos, es necesario saber cómo reaccionan los consumidores a los atributos ambientales de los vehículos disponibles en el mercado (esto también es cierto para atributos como eficiencia de los vehículos). Si los consumidores no valoran estos atributos, la sola presencia de ellos en el mercado no generará el impacto deseado. Sumado a que la mayoría de los vehículos híbridos son más caros que los tradicionales, la penetración de esta tecnología será nula o muy baja. Para resolver este problema se sugiere realizar subsidios a la compra de vehículos, pero para diseñar esta política es necesario saber cómo van a reaccionar los consumidores a distintos esquemas de subsidios o incentivos. Esto se denomina una función de respuesta a la política pública. Este tipo de análisis puede realizarse al contar con datos individuales que expliquen la elección del stock de automóviles individuales y la subsiguiente demanda de combustible.

Al respecto, existe una vasta literatura en el área de marketing y transporte que utiliza modelos de elección discreta (Hensher, Rose, & Greene, 2005) para evaluar el valor económico de diversos atributos de los medios de transporte con énfasis en vehículos que usan combustibles alternativos (Achtnicht, 2012; Hoen & Koetse, 2012; Lebeau, Van Mierlo, Lebeau, Mairesse & Macharis, 2012; Link, Raich, Sammer & Stark, 2012; Ziegler, 2012). Mediante el diseño de experimentos de elección, donde se presentan distintas alternativas a los consumidores y estos eligen entre ellos, los modelos permiten entender el valor relativo de diversos atributos y predecir el comportamiento del consumidor para cambios en su combinación. Algunas de las posibles alternativas evaluadas son vehículos eléctricos, de hidrogeno, petróleo, diésel, gas natural y gas licuado. El desarrollo metodológico de estos no se desarrolla en este documento dado que no existen datos para realizar las estimaciones. No obstante, el diseño de políticas públicas efectivas en el sector transporte requiere entender la elasticidad de la demanda no solo con respecto a precio e ingreso, sino también respecto a otros atributos relevantes de las alternativas, como seguridad, confiabilidad, comodidad, puntualidad, costo, etc. La carencia de datos de este tipo limita las posibles sugerencias de política pública que se pueden derivar de una estimación de elasticidad precio de combustible.

3. Modelos no econométricos

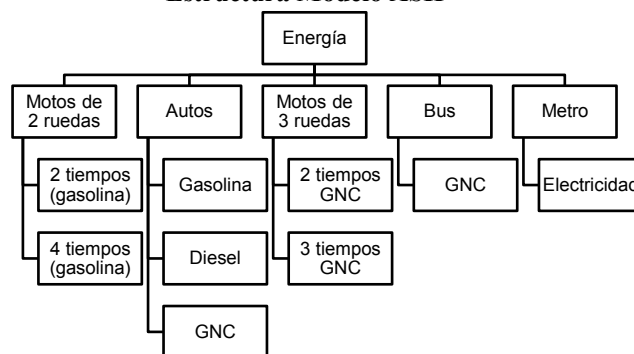
La mayoría de los modelos econométricos revisados se enfocan en la demanda de combustible, gasolina y diésel por carreteras y no consideran otros medios de transporte. Los modelos no econométricos permiten incorporar otros medios, pero se concentran más en la predicción de emisiones de carbono que en la estimación de la demanda de combustible. En ese sentido, son modelos predictivos basados en supuestos de comportamiento de la demanda. Los modelos econométricos también pueden ser usados con estos fines, pero solo algunos de los artículos analizados realizan proyecciones a partir de las estimaciones de demanda. Por ejemplo en Reyes et al. (2010) se realiza una predicción de demanda y de emisiones de carbono para el caso de México basado en las estimaciones de series de tiempo de su estudio. Los modelos revisados fueron los siguientes:

a) Enfoque “Activity-structure-energy intensity-fuel”(ASIF)

El enfoque ASIF fue desarrollado originalmente para la Agencia Internacional de Energía por Schipper, Marie-Lilliu and Gorham (1999), y es la base del modelo de movilidad de la Agencia Internacional de Energía (MoMoModel). Este enfoque presenta una ecuación genérica que relaciona la emisión de GHG con el nivel de actividad (por ejemplo: kms al año), tipo (pasajeros o carga), demanda de combustible por cada modo, y la intensidad de carbón por tipo de combustible. Ha sido utilizado en Singapur, Hanoi, Ciudad de México, Bogotá, la Unión Europea (modelo ASTRA) y Delhi, entre otras. (Schipper, Cordeiro, & Wei-Shiuen, 2007).

El modelo ASIF para demanda de energía es usado en el trabajo de Aggarwal and Jain (2014), donde analizan la demanda energética y emisiones de CO₂ para transporte urbano en Delhi. El modelo propuesto, calcula la demanda energética para cada tipo de transporte en función de la configuración del motor (2 o 4 tiempos), tipo de combustible (gasolina, diésel, GNC), nivel de actividad del medio de transporte (en km), estructura modal (porcentaje del total que compone un determinado bien), rendimiento de combustible y valor calorífico. Si bien este trabajo solo aplica a transporte en carretera, presenta un esquema diferenciado para tipos y modos de transporte en los que se distinguen cinco: automóviles, motocicletas de dos y tres ruedas, buses y transporte en metro (cada uno posee tipos de combustible propios). La contribución de cada modo de transporte y tipo de combustible determina la demanda total de combustible y el nivel de emisiones de dióxido de carbono (véase el diagrama 1).

Diagrama 1
Estructura Modelo ASIF



Fuente: Elaboración del autor con información de Aggarwal and Jain (2014).

El modelo general ASIF corresponde a la suma de la demanda de energía de cada subsector, para cada modo de transporte y tipo de combustible:

$$E_{Energía} = \sum_k \left(\sum_{ji} A_k * S_{ji} * \frac{1}{M_{ji}} * C_i \right)$$

$$E_{CO_2} = \sum_k \left(\sum_{ji} A_k * S_{ji} * Ef_i \right) / 10^6$$

Donde, $E_{Energía}$ es la demanda de energía total por año, E_{CO_2} es el nivel de emisiones por año, k representa el modo de transporte, j la tecnología de motor (2 o 4 tiempos), i es el tipo de combustible, A_k es la actividad de un determinado modo de transporte (en kilómetros), S_{ji} es el índice de estructura modal (en porcentaje), M_{ji} es el índice de rendimiento de combustible (en kilómetros por kilo o kilómetros por litro, según corresponda), C_i es el valor calorífico de un determinado tipo de combustible, y Ef_i es el factor de emisiones de CO_2 para cada tipo de combustible (en g/km).

Este modelo requiere conocer factores de uso de vehículos, así como su eficiencia energética y valor calorífico. Además, requiere conocer la estructura modal del transporte, para asignar correctamente la ponderación a cada modo de desplazamiento.

b) Modelo de demanda de energía de transporte (EDT)

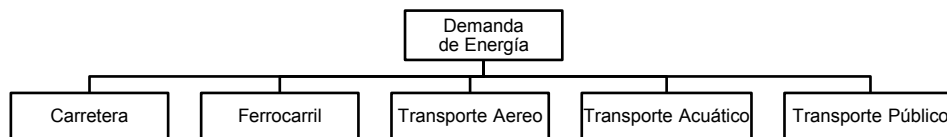
Pukšec, Krajačić, Lulić, Mathiesen, and Duić (2013) buscan proyectar la demanda de energía de largo plazo para el sector transporte de Croacia. El modelo de demanda de energía de transporte (EDT) utilizado realiza una clara distinción del tipo de transporte (pasajeros y carga), y el modo de transporte (carretera, aire, ferrocarril, acuático) para proyectar la demanda de energía. Siguiendo el modelo EDT, la demanda de energía en transporte de carretera depende del número de vehículos, el consumo de combustible, uso del vehículo en km/año, un índice de eficiencia de combustible y el valor calorífico del combustible. Para cada período existe una demanda de energía de acuerdo al tipo de vehículo y combustible.

La demanda de energía en transporte por ferrocarril depende del número de vehículos, el tiempo de uso promedio por año y el valor calorífico del combustible correspondiente. Con ello, estima una demanda para cada tipo de combustible usado (diésel o electricidad). En transporte aéreo, la demanda de energía depende de los kilómetros recorridos, el consumo anual de combustible y su valor calorífico (para cada tipo).

El transporte acuático se divide en transporte por río y marítimo. Los cuales dependen del número de vehículos de cada tipo, el consumo de cada vehículo y el índice de eficiencia energética. Finalmente, el transporte urbano depende del uso del vehículo, el número de vehículos y la eficiencia energética.

El modelo EDT consiste en determinar la demanda de energía en cada *subsector*, para luego determinar la demanda total a través de la contribución de cada uno de estos (véase el diagrama 2).

Diagrama 2
Subsectores del modelo EDT



Fuente: Elaboración del autor con información de Pukšec et al. (2013)

El modelo de demanda de energía en transporte por carretera se representa como:

$$D_i^z = \sum_{i=1}^n (E_i^z * M_i^z * P_i^z * Cm_i * Q_i) / 10^{11}$$

Donde, D_i es la demanda de energía para una determinada categoría de transporte, E_i es el número de vehículos de cada tipo de transporte, M_i es el consumo de combustible correspondiente, Cm_i es un índice de eficiencia de uso, y Q_i es el valor calorífico del combustible utilizado. Estos valores se obtienen para cada categoría de combustible, y año (z).

El modelo de **transporte de ferrocarril** distingue entre energía eléctrica y energía proveniente de consumo de diésel. La demanda de energía es la suma del consumo de estas:

$$R^z = \sum_{i=1}^n e_i^z$$

Cada fuente de consumo de energía en ferrocarriles depende a su vez de un conjunto de variables explicativas:

$$e_i^z = \sum_{i=1}^n (m_i^z * a_i^z * b_i^z * q_i) / 10^6$$

Donde, e_i es el consumo de energía en cada subfuente del transporte de ferrocarril, m_i es el número de máquinas para cada tipo, a_i es el uso promedio de un determinado tipo de vehículo, b_i es el índice de eficiencia de uso y q_i es el valor calorífico del combustible usado.

En el **transporte aéreo**, no se distingue el tipo de combustible, sino que se asume el uso de queroseno. Sin embargo, se distingue entre tipos de vehículo: turbohélices, aviones de fuselaje ligero y ancho. El consumo de energía de cada tipo de avión se modela como:

$$A^z = \sum_{i=1}^n (k_i^z * cn_i * qk_i^z) / 10^9$$

Donde A^z es la demanda de energía en el sector aéreo, k_i es el número de kilómetros recorridos, cn_i es el consumo anual de combustible, y qk_i es el valor calorífico de este.

La demanda de energía en **transporte por vía acuática** se divide en el consumo en transporte por ríos, y transporte vía marítima:

$$S^z = Sr^z + Ss^z$$

Donde S es la demanda de energía en el transporte por vía acuática, Sr es el consumo de energía en ríos, y Ss su equivalente por vía marítima

El consumo de energía en **transporte vía ríos** se mide a través de la potencia promedio y consumo específico de combustible:

$$r^z = p^z * pp^z * Cp^z$$

Donde r es el consumo de combustible en ríos, p es la potencia disponible en kW, pp es el consumo de combustible específico, y Cp el índice de eficiencia energética.

Para el consumo por **vía marítima**, el modelo corresponde a:

$$s^z = B^z * bb^z * Cj^z$$

Donde s es el consumo de combustible marítimo, B es el número de embarcaciones, bb es el consumo específico de combustible y Cj es el índice de eficiencia energética.

Finalmente, el **transporte público** de pasajeros se divide en vehículos alimentados por electricidad, diésel, biodiésel y gas natural (GNC). Esta clasificación excluye al transporte de pasajeros en trenes eléctricos (metro), ya que son incluidos en la clasificación de transporte por ferrocarril. La demanda de energía en transporte público se modela como:

$$U_i^z = u_i^z * fe_i * ti^z$$

Donde U_i es el consumo de combustible, u_i es el uso de un determinado tipo de vehículo, $f e_i$ es el índice de eficiencia energética y t_i el número de vehículos de cada tipo.

La demanda de energía es calculada para cada subsector, y luego ponderada de acuerdo a su contribución para obtener la demanda total de energía en el sector transporte para un determinado país.

Si bien el modelo tiene claras ventajas en términos de precisión, también requiere de un mayor nivel de información, sobre todo en términos de variables como uso de vehículos, tipos, índices de eficiencia energética, valor calorífico del combustible, entre otras.

En el anexo 2 se presenta una tabla con los métodos de estimación, autores, y requerimientos de información para cada uno de estos modelos.

C. Requerimientos de información

En un contexto de cambio climático, con un continuo aumento en el nivel de emisiones, es necesario diseñar herramientas de modelación que permitan gestionar de mejor forma el sector transporte, de tal forma que sea posible transitar hacia sistemas más sustentables. En este marco, dentro de las prioridades se cuentan diseñar y construir ciudades con baja emisión de carbono, incentivar cambios culturales para que los usuarios realicen sus viajes en los modos más eficientes, y generar políticas públicas que refuercen e incentiven las transformaciones necesarias.

Un aspecto a considerar al momento de modelar el sector transporte tiene que ver con las diversas dimensiones que lo componen, como: urbana-rural, pasajeros-carga, modos específicos, local-regional-global-internacional, aspectos financieros, demográficos, y de política pública. Considerando esta multidimensionalidad, los requerimientos de información para la modelación de la demanda son importantes.

Por ejemplo, en el caso de los modelos tipo ASIF la información necesaria incluye el crecimiento de la economía y la población, el consumo y las características del combustible, los precios, el número de viajes y vehículos, entre otros. Por otro lado, los modelos tipo EDT requieren información relacionada con el número de vehículos por cada tipo de transporte, el consumo de combustible, la eficiencia del consumo de energía de un determinado tipo de combustible, el uso de vehículos de una determinada categoría y el valor calorífico del combustible utilizado, entre otras variables. La información requerida por los modelos que utilizan redes neuronales y algoritmos genéticos, es similar a la mencionada anteriormente.

En cuanto a los modelos econométricos, los requerimientos de información varían dependiendo de la aproximación (serie de tiempo o corte transversal) y del objetivo de modelación. En general la información necesaria se puede resumir en las siguientes categorías⁹:

- Información socioeconómica como: el crecimiento del PIB, el precio de combustibles, los ingresos del hogar, los ingresos per cápita, población y los impuestos.
- Información técnica como: el número y tipo de vehículos, las características del combustible, los factores de emisión, el tipo de combustible, los kilómetros por año y la tecnología vehicular.

⁹ El detalle de la información necesaria para cada uno de los modelos revisados se presenta en el anexo 2.

IV. Estimaciones de demanda de combustible para Honduras

Los datos utilizados en las estimaciones corresponden a series trimestrales de consumo de gasolina y diésel, precios de combustibles, parque vehicular, población y producto interno bruto entre los años 2000-2012¹⁰. La serie de consumo de gasolina total fue construida a partir de la suma del consumo de gasolina regular y la superior o premium, mientras que la de gasolina total corresponde al promedio de los precios respectivos.

A partir de estas series, se obtuvieron las variables de consumo de gasolina y diésel per cápita (*cgast* y *cdiesel* respectivamente), sus precios (*pgast* y *pdiesel*), y el PIB per cápita (*gdp_pc*). La variable de parque vehicular (*vehs*) corresponde al número de automóviles inscritos en cada período.

Cuadro 6
Resultados de la prueba de Dickey–Fuller aumentada

Variable	Serie original	Primeras diferencias
Log. Consumo gasolina	-2,098	-6,225***
valor p	(0,547)	(0,000)
Log. Consumo diésel	-2,790	-5,531***
valor p	(0,200)	(0,000)
Log. Precio gasolina	-3,321	-7,872***
valor p	(0,062)	(0,000)
Log. Precio diésel	-3,409+	-6,649***
valor p	(0,050)	(0,000)
Log. PIB per cápita	-2,667	-7,271***
valor p	(0,250)	(0,000)
Log. Núm. Vehs.	-2,360	-5,118***
valor p	(0,400)	(0,000)

Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2015).

En el anexo 3 se presentan las gráficas temporales de la serie (en logaritmo) entre el primer trimestre del año 2000 y cuarto trimestre de 2012. En general, las series de precio de gasolina y diésel muestran un comportamiento creciente a través del tiempo, lo cual puede ser producto de un efecto de

¹⁰ Existen series con información para períodos anteriores o posteriores, sin embargo, para efectos de estimación se utilizan los períodos coincidentes entre series.

tendencia temporal, al igual que la serie de parque vehicular utilizada. Por otro lado, las series de consumo de gasolina y diésel muestran comportamientos dispares: por un lado, el consumo de diésel muestra aumento y contracción entre el 2000-2005, pero a partir del 2006 muestra comportamientos cíclicos. La serie de gasolina presenta un nivel bajo de consumo hasta el 2006, momento en que aumenta considerablemente. En el mismo anexo se presentan gráficas de autocorrelación y autocorrelación parcial de las series utilizadas. En general, se observa un alto nivel de autocorrelación de las series, la cual prevalece incluso en trimestres posteriores. Esta tendencia puede ser evidencia de no estacionariedad de las series.

Para comprobar la existencia de raíces unitarias, se recurre a la prueba de Dickey y Fuller Aumentada (ADF, por sus siglas en inglés), los resultados se observan en el cuadro 6. En general, no es posible rechazar la hipótesis de existencia de raíces unitarias para las series originales, lo cual indica que éstas son al menos integradas de orden 1(I). Al realizar la prueba sobre la primera diferencia, es posible rechazar que existe al menos una raíz unitaria en las series, lo que permite afirmar el planteamiento anterior.

A. Modelos estimados

1. Modelos simples de regresión en series de tiempo

Birol and Guerer (1993), Chakravorty et al. (2000), entre otros utilizan especificaciones sencillas para modelar la demanda de gasolina y/o diésel. Considerando el orden de integración de las series, se presentan tres especificaciones distintas:

$$\Delta c_t = \alpha + \beta_1 \Delta p_t + \beta_2 \Delta y_t + \lambda_1 c_{t-1} + \lambda_2 c_{t-2} + \mu_t$$

$$\Delta c_t = \alpha + \beta_1 \Delta p_t + \beta_2 \Delta p s_t + \beta_3 \Delta y_t + \lambda_1 c_{t-1} + \lambda_2 c_{t-2} + \mu_t$$

$$\Delta c_t = \alpha + \beta_1 \Delta p_t + \beta_2 \Delta p s_t + \beta_3 \Delta v_t + \beta_4 \Delta y_t + \lambda_1 c_{t-1} + \lambda_2 c_{t-2} + \mu_t$$

Donde c_t , es el consumo de gasolina o diésel per cápita, p_t el precio correspondiente, y_t el PIB per cápita, ps_t el precio cruzado del combustible y v_t el número de automóviles ingresados.

Cuadro 7
Resultados de la regresión simple para gasolina^{a,b}

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Constante	-0,0353 (0,0852)	-0,0352 (0,0862)	-0,0381 (0,0847)
$\Delta \ln p_t$	-0,192*** (0,0487)	-0,231+ (0,119)	-0,235+ (0,122)
$\Delta \ln y_t$	0,460* (0,180)	0,439* (0,176)	0,427* (0,184)
$\Delta \ln c_{t-1}$	-0,135 (0,143)	-0,135 (0,145)	-0,143 (0,148)
$\Delta \ln c_{t-2}$	-0,159 (0,115)	-0,145 (0,114)	-0,141 (0,112)
Trimestre	0,000245 (0,000460)	0,000244 (0,000466)	0,000264 (0,000455)
$\Delta \ln ps_t$	-	0,0369 (0,100)	0,0472 (0,101)
$\Delta \ln v_t$	-	-	-0,0215 (0,0262)
N	49	49	49
adj. R ²	0,283	0,267	0,256

Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2015).

^a Errores estándar entre paréntesis.

^b Niveles de significancia: + p < 0.10, * p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001.

El cuadro 7, muestra las estimaciones de los tres modelos propuestos para el consumo de gasolina total, a partir del método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO). Todas muestran que el coeficiente del precio de la gasolina es significativo y negativo, lo cual es consistente con la teoría. El coeficiente del ingreso per cápita muestra que existe una relación positiva entre la tasa de crecimiento del producto y el consumo de combustible, ambos per cápita. Por otro lado, a partir de las regresiones 2 y 3 se aprecia que ni el precio del diésel ni el número de vehículos influyen en el consumo per cápita de gasolina. Además, el coeficiente de determinación ajustado muestra preferencia por el modelo 1 de determinación del consumo de gasolina.

Cuadro 8
Resultados de la regresión simple para diésel^{a,b}

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Constante	0,0939 (0,164)	0,0521 (0,141)	0,0536 (0,142)
$\Delta \ln p_t$	-0,0487 (0,123)	-0,614 [*] (0,254)	-0,620 [*] (0,249)
$\Delta \ln y_t$	-0,499 ⁺ (0,289)	-0,269 (0,292)	-0,252 (0,298)
$\Delta \ln c_{t-1}$	-0,442 ^{**} (0,159)	-0,528 ^{***} (0,133)	-0,488 ^{**} (0,141)
$\Delta \ln c_{t-2}$	0,136 (0,155)	0,195 (0,135)	0,210 (0,138)
$\Delta \ln c_{t-3}$	0,156 (0,153)	0,291 ⁺ (0,169)	0,247 (0,172)
Trimestre	-0,000473 (0,000846)	-0,000265 (0,000732)	-0,000285 (0,000742)
$\Delta \ln ps_t$	-	0,725 [*] (0,286)	0,696 [*] (0,283)
$\Delta \ln v_t$	-	-	0,0667 (0,0511)
N	48	48	48
adj. R ²	0,148	0,236	0,239

Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2015).

^a Errores estándar entre paréntesis.

^b Niveles de significancia: ⁺ $p < 0,10$, ^{*} $p < 0,05$, ^{**} $p < 0,01$, ^{***} $p < 0,001$.

El cuadro 8, muestra los resultados del modelo simple bajo las 3 especificaciones propuestas para el consumo de diésel per cápita. Los coeficientes del precio del diésel son significativos y negativos solo en los modelos 2 y 3, a diferencia del modelo 1, donde si bien el coeficiente es negativo y consistente con la teoría económica, no es estadísticamente significativo. Los modelos 2 y 3 incorporan el efecto del precio cruzado, en este caso el precio de la gasolina, y el número de vehículos ingresados respectivamente. En él, solo el coeficiente del precio de la gasolina es significativo y positivo, no así el coeficiente del número de vehículos. Finalmente, el coeficiente de determinación ajustado muestra preferencia por el modelo 3.

2. Modelos cointegrados

Varios autores consideran modelos de cointegración para modelar la demanda de combustibles (Akinboade et al., 2008; Alves & da Silveira Bueno, 2003; Cheung & Thomson, 2004; Rao & Rao, 2009). El modelo de corrección de error (ECM) propuesto por Söderbom, Teal, Eberhardt, Quinn, and Zeitlin (2014) está definido estructuralmente como:

$$c_t = \beta_0 + \beta_1 p_t + \beta_2 p_{t-1} + \beta_3 y_t + \beta_4 y_{t-1} + \lambda_1 c_{t-1} + \lambda_2 c_{t-2}$$

Aplicando diferencia a la variable dependiente, la ecuación estimable del modelo ECM es:

$$\Delta c_t = \beta_0 + (\lambda_1 - 1)c_{t-1} + \beta_1 \Delta p_t + (\beta_1 + \beta_2)p_{t-1} + \beta_3 \Delta y_t + (\beta_3 + \beta_4)y_{t-1} + \lambda_2 c_{t-2}$$

Alves and da Silveira Bueno (2003) y Cheung and Thomson (2004) utilizan el enfoque del modelo de corrección de error en dos etapas, el cual primero estima el modelo estructural y los residuos de la regresión. La etapa final agrega los residuos de la regresión (en rezago) como regresor del modelo:

$$\Delta c_t = \alpha_0 + \alpha_{1i}\Delta c_{t-i} + \alpha_{21}\Delta y_{t-t} + \alpha_{3i}\Delta p_{t-i} + \alpha_4 ECT_{t-1} + \mu_t$$

Donde ECT_{t-1} es el residuo estimado de la ecuación estructural con un rezago.

Akinboade et al. (2008) muestra que el enfoque de dos etapas propuesto por Cheung and Thomson (2004) presenta algunas dificultades econométricas. En particular, el modelo es especialmente sensible ante un número reducido de observaciones, por lo que propone la estimación de un modelo de corrección de error sin restricciones (UECM, por sus siglas en inglés). Para ello, utiliza la ecuación estructural:

$$\ln c_t = \alpha + \beta_1 \ln p_t + \beta_2 \ln y_t + \varepsilon_t$$

La ecuación estimable UECM es igual a:

$$\Delta \ln c_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^m \alpha_{1i} \Delta \ln c_{t-i} + \sum_{i=0}^n \Delta \ln y_{t-i} + \sum_{i=0}^p \alpha_{3i} \Delta \ln p_{t-i} + \eta_1 \ln y_{t-1} + \eta_2 \ln p_{t-1} + \eta_3 \ln c_{t-1} + e_t$$

Donde m , n y p son enteros positivos distintos de 1. La ventaja de este modelo sin restricción es que no requiere pruebas previas respecto al orden de integración de las series, además de proveer un método sencillo para probar la hipótesis de no cointegración. En particular, la ecuación de cointegración es igual a:

$$\widehat{\eta}_1 \ln y_{t-1} + \widehat{\eta}_2 \ln p_{t-1} + \widehat{\eta}_3 \ln c_{t-1} = 0$$

Lo cual permite formalizar la hipótesis nula de no cointegración como una prueba estándar de significancia conjunta de parámetros (test de Wald o F):

$$H_0: \eta_1 = \eta_2 = \eta_3 = 0$$

$$H_A: \exists \eta_i \neq 0, i = \{1,2,3\}$$

Por otro lado, el modelo UECM permite obtener de forma directa los coeficientes de largo plazo del precio e ingreso, los cuales son $-\frac{\eta_1}{\eta_3}$ y $-\frac{\eta_2}{\eta_3}$ respectivamente.

Para efectos de la obtención de las elasticidades de largo plazo, se utiliza una ampliación del modelo utilizado por Akinboade et al. (2008), incorporando en la ecuación estructural una variable de parque vehicular. Así, la ecuación de demanda estructural cambia a:

$$\ln c_t = \alpha + \beta_1 \ln p_t + \beta_2 \ln y_t + \beta_3 \ln v_t + \varepsilon_t$$

Donde, v_t es la variable de parque vehicular. Finalmente, la ecuación a estimar es:

$$\Delta \ln c_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^m \alpha_{1i} \Delta \ln c_{t-i} + \sum_{i=0}^n \Delta \ln y_{t-i} + \sum_{i=0}^p \alpha_{3i} \Delta \ln p_{t-i} + \sum_{i=0}^q \alpha_{4i} \Delta \ln v_{t-i} + \eta_1 \ln y_{t-1} + \eta_2 \ln p_{t-1} + \eta_3 \ln c_{t-1} + \eta_4 \ln v_{t-1} + e_t$$

El cuadro 10 muestra los resultados de la estimación del modelo UECM para consumo de diésel. La determinación del número de rezagos fue obtenida de la misma forma que en el modelo de demanda de gasolina. Los coeficientes estimados muestran niveles de significancia aceptables, y permiten obtener las elasticidades precio, ingreso y parque vehicular de largo plazo para la demanda de diésel.

El cuadro 11 muestra las elasticidades de corto y largo plazo respecto al precio, ingreso y parque vehicular para cada tipo de combustible. En general los resultados son coherentes con lo esperado en cuanto al signo y las magnitudes relativas: las de corto plazo son menores (en valor absoluto) a las de largo plazo, por lo que la demanda de combustibles es más elástica al considerar un horizonte de tiempo más amplio.

Cuadro 9
Modelo UECM, demanda de gasolina^a

	$\Delta \ln cgas_t$	(Error estándar)
$\Delta \ln cgas_{t-1}$	0,131	(0,142)
$\Delta \ln pgas_t$	-0,242*	(0,0922)
$\Delta \ln pgas_{t-1}$	0,266 ⁺	(0,131)
$\Delta \ln pgas_{t-2}$	0,263**	(0,0871)
$\Delta \ln pgas_{t-3}$	0,160 ⁺	(0,0881)
$\Delta \ln gdppc_t$	0,871*	(0,343)
$\Delta \ln gdppc_{t-1}$	0,272	(0,479)
$\Delta \ln gdppc_{t-2}$	0,642	(0,493)
$\Delta \ln gdppc_{t-3}$	0,669 ⁺	(0,379)
$\Delta \ln vehs_{t-1}$	-0,0896	(0,0606)
$\Delta \ln vehs_{t-2}$	-0,0754	(0,0554)
$\Delta \ln vehs_{t-3}$	-0,0352	(0,0357)
$\ln cgas_{t-1}$	-0,750**	(0,211)
$\ln pgas_{t-1}$	-0,567***	(0,140)
$\ln gdppc_{t-1}$	0,517	(0,382)
$\ln vehs_{t-1}$	0,142 ⁺	(0,0725)
<i>trend</i>	-0,750**	(0,00254)
<i>constant</i>	-6,317*	(2,802)
<i>Elast. Precio LP</i>	-0,757***	(0,1724)
<i>Elast. Ingreso LP</i>	0,6903	(0,5614)
<i>Elast. Parque Veh. LP</i>	0,1898**	(0,0653)
<i>Prueba de cointegración</i>	4,52**	-
<i>N</i>	48	-
<i>adj. R²</i>	0,424	-

Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2015).

^a Niveles de significancia: ⁺ $p < 0.10$, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Cuadro 10
Modelo UECM, demanda de diésel^a

	$\Delta \ln cdiesel_t$	(Error estándar.)
$\Delta \ln cdiesel_{t-1}$	-0,395***	(0,119)
$\Delta \ln pdiesel_{t-2}$	0,333***	(0,0894)
$\Delta \ln pdiesel_{t-4}$	0,152 ⁺	(0,0893)
$\Delta \ln gdppc_{t-2}$	0,619**	(0,196)
$\Delta \ln vehs_t$	0,100*	(0,0471)
$\ln cdiesel_{t-1}$	-0,357***	(0,0875)
$\ln pdiesel_{t-1}$	-0,385***	(0,0697)
$\ln gdppc_{t-1}$	0,555	(0,353)
$\ln vehs_{t-1}$	0,0681 ⁺	(0,0348)
<i>constant</i>	-4,434	(2,637)
<i>Elast. Precio LP</i>	-1,077***	(0,321)
<i>Elast. Ingreso LP</i>	1,555	(1,0940)
<i>Elast. Parque Veh. LP</i>	0,1906 ⁺	(0,115)
<i>Prueba de cointegración</i>	13,23***	-
<i>N</i>	47	-
<i>adj. R²</i>	0,523	-

Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2015).

^a Niveles de significancia: ⁺ $p < 0.10$, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Un resultado interesante es la diferencia en magnitud de la elasticidad precio de largo plazo para gasolina y diésel (para la que muestra un coeficiente menor a -1), evidencia que esta demanda es más sensible a cambios en el precio que la demanda por gasolina. Por otro lado, se observa que los coeficientes de elasticidad ingreso son estadísticamente no significativos. Finalmente, las elasticidades de largo plazo del parque vehicular muestran que la demanda de combustibles es inelástica ante cambios en esta variable.

Los resultados obtenidos son coherentes con la literatura existente, el cuadro 12 muestra una pequeña recopilación de los estudios empíricos que utilizan metodologías similares, detallando las elasticidades precio e ingreso para gasolina y diesel, y especificando si es de corto o largo plazo, en caso de que aplique.

Cuadro 11
Coefficientes de corto y largo plazo de precio e ingreso (modelo UECM)^a

Elasticidad	Tipo	Combustible	
		Gasolina	Diésel
Precio	Corto plazo	-0,567***	-0,385***
	Largo plazo	-0,757***	-1,077***
Ingreso	Corto plazo	0,517	0,555
	Largo plazo	0,6903	1,555
Parque Vehicular	Corto plazo	0,142+	0,0681+
	Largo plazo	0,1898**	0,1906+

Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2015).

^a Niveles de significancia: + p < 0.10, * p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001

Cuadro 12
Elasticidades reportadas en estudios similares^a

Autor	Modelo	País/año	Gasolina	Diesel
Chakravorty, Fesharaki, and Zhou (2000)	TS-OLS	12 países/1972-1992	Corto plazo EP: -2,467/0,078 EI: -0,026/1,10	Corto plazo EP: -20/0,219 EI: -1,39/9,71
Birol and Guerer (1993)	TS-OLS	6 países/1970-1990	Corto plazo EP: -0,29/-0,04 EI: 0,12/0,76	Corto plazo EP: -0,38/0,06 EI: 0,17/1,63
Cheung and Thomson (2004)	TS-ECM	China/1980-1999	Corto plazo EP: -0,19 EI: 1,64 Largo plazo EP: -0,56 EI: 0,97	N/A
Polemis (2006)	TS-VECM	Grecia/1978-2003	Corto plazo EP: -0,10 EI: 0,36	Corto plazo EP: -0,07 EI: 0,42
De Vita, Endresen, and Hunt (2006)	TS-ADRL	Namibia/1980-2002	Corto plazo EP: -0,858/-0,794 EI: 0,957/1,081	Corto plazo EP: -0,138/-0,109 EI: 2,075/2,077
Rao and Rao (2009)	TS-Cointegración	Fiji/1970-2005	Corto plazo EP: -0,244 EI: 0,429	N/A
Akinboade, Ziramba, and Kumo (2008)	TS-UECM	Sudáfrica/1978-2005	Largo plazo EP: -0,47 EI: 0,36	N/A
Alves and da Silveira Bueno (2003)	TS-ECM	Brasil/1984-1999	Corto plazo EP: -0,46 EI: 0,12 Largo plazo EP: -0,09 EI: 0,12	N/A

Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2015).

^a EP: elasticidad precio/EI: elasticidad ingreso.

En general, los estudios revisados evidencian que la elasticidad precio e ingreso son inferiores a la unidad (en valor absoluto), lo que muestra que la demanda de combustibles es relativamente inelástica a cambios en estas variables, salvo excepciones como en el caso de De Vita, Endresen and Hunt (2006) y el de Chakravorty, Fesharaki and Zhou (2000), quienes muestran valores altos en la elasticidad del ingreso. Un aporte relevante para esta consultoría es la inclusión de una variable de parque vehicular en la ecuación estructural de demanda, utilizando un modelo UECM. Esto permite aprovechar las ventajas del modelo en términos econométricos, y capturar el efecto de largo plazo ante cambios en el parque vehicular.

Cuadro 13
Proyecciones para PIB y parque vehicular

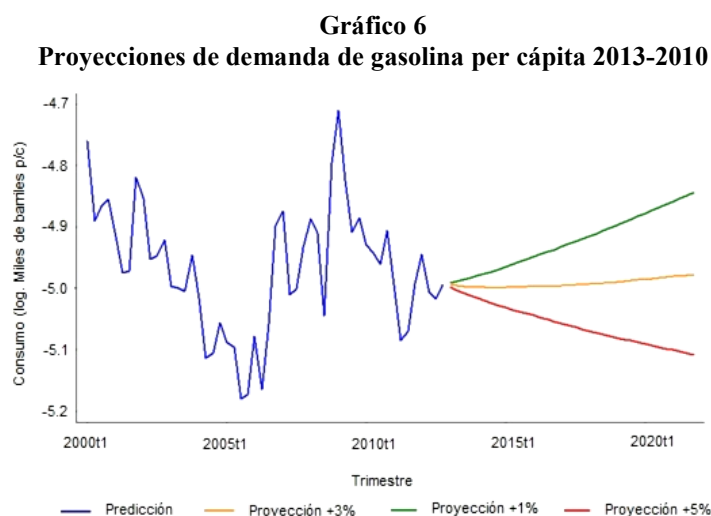
Periodo	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Crecimiento PIB	2,8%	3,1%	3,6%	3,5%	3,7%	3,8%	4,0%	4,0%	4,0%
Parque Vehicular	7,5% anual								

Fuente: Elaboración propia con datos del Fondo Monetario Internacional (FMI).

A partir de los resultados de largo plazo obtenidos, y utilizando proyecciones realizadas por el FMI respecto a crecimiento de la población, precios y producto, es posible realizar la proyección del consumo de gasolina y diésel para el periodo 2013-2021.

El cuadro 13 muestra las proyecciones utilizadas para las variables explicativas del modelo de consumo de combustibles. Las series de crecimiento proyectado del PIB fueron obtenidas a partir de los cálculos realizados por el FMI, mientras que la proyección de crecimiento de parque vehicular fue realizada a partir del promedio anual de crecimiento en el período 2002–2012.

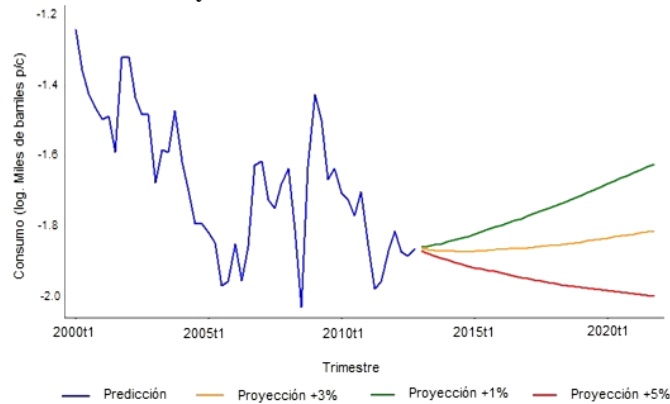
El gráfico 6 muestra la demanda de gasolina en el período estudiado, además de las proyecciones realizadas con los coeficientes de largo plazo entre 2013 y 2021, utilizando 3 escenarios de cambios anuales en el precio de los combustibles: un aumento de un 1, 3 y 5% anual en el precio de los combustibles. Un ejercicio similar fue realizado en el gráfico 7, para el consumo de diésel, utilizando los coeficientes de largo plazo respectivos.



Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2015).

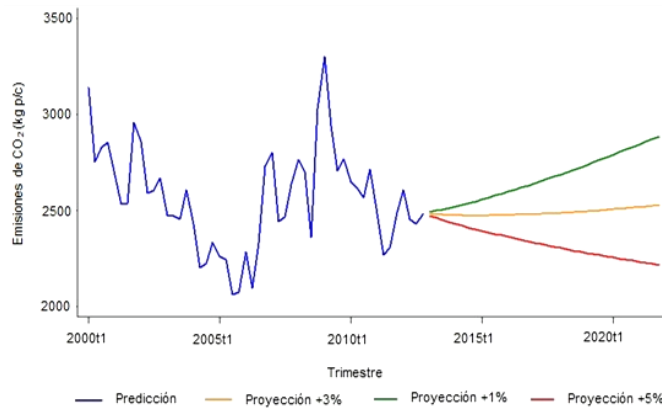
En los dos escenarios más conservadores para el alza en los precios de los combustibles, las proyecciones muestran un incremento significativo en el consumo. Sin embargo, en el tercero se requeriría aumentar los precios en un 5% anual para tener un impacto negativo sobre los niveles de consumo y emisiones, lo cual sería poco factible. Esto contrasta con las necesidades de reducir emisiones de GEI en el país, hecho que puede observarse en los gráficos 8 y 9. Adicionalmente, es importante destacar que la elasticidad ingreso es positiva mientras que la elasticidad precio es negativa. Esto quiere decir, que aumentos en los precios por parte de la autoridad serán eventualmente compensados por el aumento en el ingreso disponible de las familias hondureñas. Es decir, una política basada exclusivamente en aumento de precios será estéril en el largo plazo si no se combina con otras políticas públicas en el sector transporte y en otros como el energético.

Gráfico 7
Proyecciones de demanda de diésel



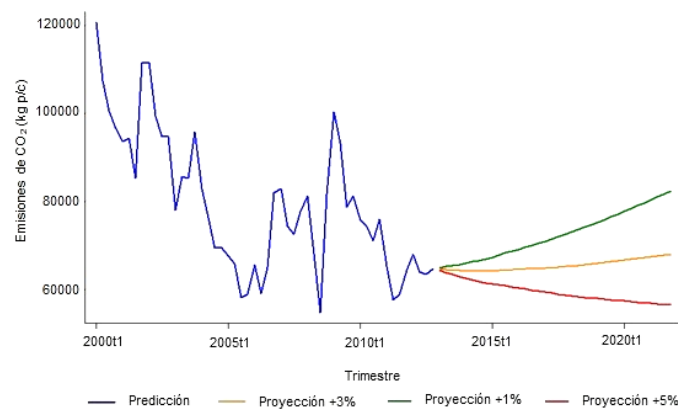
Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2015).

Gráfico 8
Proyección de emisiones de CO₂ para gasolina (factor de 2,303 kg/l)



Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2015).

Gráfico 9
Proyección de emisiones de CO₂ para diésel 2013-2021 (factor de 2,625 kg/l)



Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2015).

En el siguiente apartado se discuten varias alternativas de política pública que se han usado a nivel internacional y que podrían orientar futuras investigaciones para el caso hondureño.

V. Instrumentos de política para el cambio climático

A. Contexto internacional

El 12 de diciembre de 2015 en la Conferencia de las Partes (COP-21, por sus siglas en inglés), 195 naciones alcanzaron un acuerdo –Acuerdo de París- para combatir el cambio climático. El objetivo principal es mantener los niveles de emisiones a un nivel tal, que el aumento de la temperatura hacia el 2100 sea menor a los 2° C. Lo anterior implica que los países firmantes deben alcanzar un máximo de emisiones lo antes posible, para luego comenzar una reducción acelerada de estas. El acuerdo está cimentado sobre cinco líneas de acción:

- i) Mitigación de emisiones.
- ii) Transparencia y balance en la contabilidad de emisiones.
- iii) Adaptación al cambio climático.
- iv) Pérdidas y daños, según el Mecanismo Internacional de Varsovia de 2013, el cual solicita a los países en desarrollo fortalecer las capacidades de los países menos desarrollados para enfrentar el cambio climático.
- v) Financiación para países en desarrollo para la elaboración y ejecución de políticas de mitigación y/o adaptación al cambio climático.

Previo a la suscripción del acuerdo, los países participantes enviaron para su aprobación por parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés) las Contribuciones Previstas Determinadas (INDCs, por sus siglas en inglés), donde los países manifestaron cuales serían las acciones que implementarían para combatir el cambio climático después del 2020¹¹, ya que las acciones de mitigación al cambio climático hasta ese año están basada en las Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMAs, por sus siglas en inglés).

El alcance de las INDCs en la lucha contra el cambio climático considera las particularidades de cada país con respecto a: su aporte a las emisiones globales, nivel de desarrollo, marco institucional, capacidades, entre otros aspectos. Las INDCs son la forma que tiene un gobierno para comunicar internacionalmente cómo cada país enfrentará el cambio climático y cómo las acciones domésticas se integran dentro de la institucionalidad global. Dichos planes serán revisados y comunicados internacionalmente cada 5 años.

¹¹ http://unfccc.int/focus/indc_portal/items/8766.php

En el caso específico de Honduras, las INDC consideran una reducción de un 15% en el nivel de emisiones con respecto a la línea de base (escenario BAU, por sus siglas en inglés) para el año 2030. Esta reducción considera los gases: CO₂, CH₄ y N₂O, mientras que los sectores considerados son energía, procesos industriales, agricultura y residuos¹².

De acuerdo al IMF (2008) las medidas de reducción de GEI deben cumplir varios criterios. Primero, deben aumentar los precios de las emisiones de GEI de tal forma que reflejen el verdadero costo social de éstos. Segundo, deben ser aplicadas a todos los sectores involucrados y en todos los periodos de tiempo para asegurar el objetivo con el menor costo posible. Además, se deben considerar los impactos distributivos de estas medidas para garantizar la justicia en la implementación de la medida y factibilidad política. Finalmente, debe ser flexible, es decir, contar con la característica de ajustarse a futuras necesidades.

B. Instrumentos para el control de emisiones

Dado el contexto de cambio climático y los objetivos de cumplimiento de reducción de emisiones de GEI de los países, ha surgido con mucha fuerza la idea de utilizar instrumentos económicos, como impuestos al carbono, para lograr una reducción de emisiones.

En el caso particular de las emisiones asociadas a combustibles fósiles, la eficacia de estos mecanismos requieren entender la demanda por combustibles y las elasticidades precio e ingreso de estas. Las estimaciones de demanda, además, son útiles para predecir el consumo de energía y por ende de emisiones de GEI para diversos escenarios de crecimiento económico y para distintas políticas públicas que busquen reducir emisiones como impuestos, subsidios, estándares tecnológicos, etc. Las estimaciones econométricas presentadas anteriormente responden parcialmente a estas interrogantes, permiten predecir el crecimiento de la demanda de energía y de las emisiones. En el caso de Honduras, sugieren un crecimiento sostenido de la demanda de combustibles, con escasa incidencia de políticas de precio sobre la reducción de emisiones.

Las opciones de mercado como impuestos al carbono o permisos de emisión transables son sistemáticamente sugeridos por distintos sectores porque teóricamente son más costo efectivas (Kim et al., 2011). Pero para que un sistema de impuestos tenga los resultados esperados se debe conocer la elasticidad precio (e ingreso) de la demanda de combustibles. El reporte de Máca et al. (2013) concluye que se debe aplicar un pool de políticas mixtas para alcanzar el objetivo de reducción de emisiones (Hill et al., 2012). Por ejemplo, restricciones al uso de vehículos privados y mejoras en la red de servicio de transporte público, cobros de estacionamientos y mejoras del transporte público, instrumentos económicos con apoyo a la investigación y desarrollo en tecnologías eficientes, campañas de información, subsidios a vehículos menos contaminantes financiados con impuestos a vehículos más contaminantes, entre muchas otras combinaciones.

Este reporte se basa en el Mecanismo de Informe sobre Transporte-Medio Ambiente (TERM) desarrollado por la EEA (EEA, 2010) que se elabora en torno a tres tipos de acciones: evitar, desplazar y mejorar (ASI, por sus siglas en inglés “*avoid, shift and improve*”) para reducir emisiones.

- Reducir el número de viajes a través de mejor planificación urbana y sustitución de transporte con comunicaciones no presenciales y cambios de conducta (evitar).
- Uso de medios alternativos de transporte que sean menos intensivos en carbono (desplazar).
- Reducir la emisión de carbono de los modos de transporte individuales. Incrementando así la eficiencia a partir de biocombustibles, el uso de vehículos eléctricos e híbridos, etc. (mejorar).

Por ende, es importante identificar otros instrumentos de política pública que aumenten la elasticidad de la demanda. En particular se requieren más sustitutos de transporte que compitan en igualdad de condiciones con las alternativas privadas o individuales de transporte. En general se debe desincentivar el uso del automóvil y promover otras alternativas. Esto se puede hacer vía impuesto a los vehículos, la gasolina, el

¹² http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/Honduras/1/Honduras%20INDC_esp.pdf

uso de carreteras, la contaminación, entre otros. Es importante que éstos apunten adecuadamente al problema que se quiere regular. En este caso estamos interesados en GEI por lo tanto se debe eliminar el uso de tecnologías contaminantes, por lo que los impuestos pueden apuntar a la importación de este tipo de vehículos (vinculados al nivel de eficiencia, al cilindraje del vehículo, etc).

No obstante, estas políticas deben acompañarse con medidas que mejoren las regulaciones ambientales y las capacidades del Estado para monitorear y forzar el cumplimiento de estas medidas. Además, se pueden generar subsidios a conductas que ayuden a alcanzar las metas ambientales y evitar aquellos subsidios que facilitan la emisión de GEI.

Intervenciones en todos los ámbitos mencionados son importantes; planificación, regulación, información, incentivos económicos y cambios tecnológicos. Los instrumentos de planificación pueden ayudar a reducir las necesidades de uso de transporte individual y fomentar el uso del transporte público o el desplazamiento hacia otros medios menos contaminantes como vehículos no motorizados. La regulación (física o tecnológica) debe apuntar a definir normas y estándares y a cambiar los procesos productivos y de organización del transporte. A su vez, los instrumentos económicos deben ayudar a incentivar las conductas ambientalmente deseables a través de impuestos y subsidios como se discutió con anterioridad, con el objetivo de reducir el uso en vehículos motorizados individuales. Los instrumentos tecnológicos deben enfocarse en alternativas más limpias de propulsión, mejoras en combustibles y eficiencia de los vehículos (Máca et al., 2013)

Cualquiera de estas medidas debe basarse en un análisis riguroso del comportamiento de los agentes económicos en términos de su reacción a los subsidios, impuestos, estándares, etc. Con el fin de evitar generar incentivos perversos, subestimar o sobreestimar el logro de las metas ambientales al no entender la respuesta que tendrá la demanda de combustibles ante distintas políticas. Cualquier instrumento usado para alcanzar objetivos ambientales debe lograr cambios en los patrones de consumo o de producción para que se considere efectivo. En este sentido la estimación de elasticidades precio e ingreso de la demanda, pretende calcular el cambio en la conducta de los consumidores ante aumentos en el precio de los combustibles, tal como se ha visto, la demanda es inelástica al precio y más elástica al ingreso, lo que sugiere que las políticas centradas exclusivamente en los precios no tendrán efectos significativos en la reducción de emisiones del sector transporte.

Respecto de las mejoras en la eficiencia, hay dos mecanismos que explican avance en los sistemas de transporte: el cambio tecnológico y el cambio en el comportamiento de los consumidores (Nijland et al., 2012). Por una parte, la tecnología de todos los medios de transporte se mueve hacia estándares más eficientes y se espera que los consumidores prefieran alternativas más eficientes.

En la literatura existe una amplia área de investigación relacionada a estrategias psicológicas para lograr el cambio (voluntario) de conductas y actitudes en los consumidores, (por ejemplo campañas de información y de marketing, nudging, planificación de viajes y cambios de horario de entrada y salida), sugiriendo que estas medidas son más costo efectivas que otros instrumentos de política (Gardner & Abraham, 2008 y Green & Stone, 2004). Quizás es muy temprano para definir adecuadamente la efectividad de estas medidas, sobre todo cuando se implementan como complemento de otros instrumentos, no obstante, es importante tener en cuenta que conocer el comportamiento de los individuos ante este tipo de estímulos es importante, en especial para los países que no cuentan con los sistemas institucionales adecuados para forzar el cumplimiento de la política pública, o que no cuentan con los recursos necesarios para impulsar medidas de cambio en infraestructura. Entonces resulta imprescindible evaluar cuándo y cómo funcionan estos mecanismos y su impacto de largo plazo en la conducta de los consumidores (Taylor, 2007; Taylor & Ampt, 2003).

En conclusión, se deben aplicar un conjunto de medidas que busquen sincerar el precio de los combustibles con el fin de que los precios incluyan el costo ambiental que generan, para combinarlas con medidas de comando y control que busquen fijar estándares de eficiencia y tecnología, y así incentivar el uso de tecnologías alternativas (eléctricas, híbridas, bicicletas, etc.) y mejorar los sistemas de transporte colectivo.

Lamentablemente los datos disponibles no permiten simular escenarios que consideren otras herramientas de política, dado que no fue factible estimar modelos de comportamiento asociados a posibles políticas públicas, por lo que la discusión es descriptiva y sólo se basa en la revisión de la literatura.

C. Acciones de mitigación

Dado sus antecedentes, los planes de mitigación del sector transporte deben apuntar a diversificar el uso de fuentes de energía, vinculando mejoras tecnológicas y el diseño de sistemas de transporte más eficientes. En la literatura existen varios ejemplos de este tipo de medidas, por ejemplo, el uso de medidas para mejorar la eficiencia energética del sistema de transporte que incluyen normativas sobre emisiones (e.g. emisiones de CO₂ por kilómetro), impuestos verdes al consumo de gasolinas que se extienden a la compra de autos, impuestos a la congestión, o impuestos para internalizar los daños de la contaminación atmosférica o el uso y daño de las carreteras. Algunas de las opciones que se encuentran en la literatura son las siguientes:

1. Diseño de un sistema de transporte sustentable y eficiente

Una posibilidad es diseñar sistemas de transporte sustentables en ciudades que reduzcan el uso intensivo de medios individuales de transporte generadores de GEI (automóviles), a través de incentivos en el uso de transporte no motorizado, por ejemplo, a través de la construcción de ciclo vías y estacionamientos seguros para bicicletas, y diseñando un transporte público eficiente y moderno. Todas estas son medidas de largo plazo que contribuyen a reducir la constante presión sobre el medio ambiente. La incorporación de sistemas de metro y trenes ligeros generan menores emisiones de CO₂ que los automóviles, e incluso los trenes de alta velocidad para pasajeros han demostrado ser más eficientes que el transporte aéreo para distancias cortas. En relación al movimiento de carga, el uso de trenes o de transporte por agua también ha demostrado generar menos GEI que su movimiento vía carretera (IDB, 2014; Khan et al., 2007)

Este panorama es consistente con la política pública hondureña que, en el sector del transporte, está impulsando dos NAMAs. Primero, la implementación de un programa de transporte público urbano sostenible en las principales ciudades del país, que busca la reducción de emisiones de carbono, ahorros en combustible, mejoras en la calidad del aire, menor contaminación auditiva, menor accidentalidad, mejor calidad de desplazamiento del usuario, entre otros. Segundo el mejoramiento de la eficiencia de vehículos en operación a nivel nacional, la cual estará enfocada en el ahorro de combustible y reducción de GEI¹³.

2. Nuevos sistemas de propulsión y vehículos más eficientes

Los avances tecnológicos en el sector automotriz han apuntado a introducir vehículos con nuevos sistemas de propulsión, lo que podría significar una importante reducción en los niveles de emisión de GEI. Dentro de estos se cuenta con vehículos que usan motores eléctricos propulsados por baterías o pila de combustible, cuyo nivel de emisiones puede ser considerablemente bajo si se basan en electricidad generada con bajos niveles de carbono. Su principal inconveniente es que sus costos aún son elevados y su nivel de autonomía es en general más reducido que el de un vehículo tradicional. De ahí que el empleo de vehículos híbridos (con motor térmico y eléctrico) tiene un potencial mayor, ya que aun cuando genera niveles de emisiones en los momentos de uso del motor térmico, sus niveles son menores. Estos vehículos (con tecnología térmico-eléctrica) pueden llegar a generar reducciones en las emisiones de hasta un 35% en comparación con los vehículos tradicionales (Sims et al., 2014; IDB, 2014; OECD/IEA, 2009).

Otra forma en la que la industria automotriz ha buscado ahorrar es en el uso de combustible, y con ello reducir los niveles de emisiones, es a través del diseño y la mejora tecnológica de los vehículos, tanto livianos como pesados, a partir de la aerodinámica, mejora en sus componentes auxiliares (aire acondicionado y calefacción), la producción de mejores neumáticos, y la reducción del peso de los vehículos.

3. Inclusión de fuentes combustibles bajas en carbono

Dentro de estas opciones de combustibles están el gas natural comprimido (CNG), gas licuado de petróleo (LPG), biocombustibles (como el etanol y el biodiésel), electricidad generada por fuentes de poder bajas en carbono y el hidrógeno. Algunos de ellos son fáciles de incorporar en el uso de vehículos livianos, no

¹³ <http://cac.foodsecurityportal.org/regional-sub-portal-blog-entry/latin-america/489/riesgo-y-resiliencia>

obstante, para vehículos pesados el desarrollo de biocombustibles puede ser la vía más factible. Exceptuando el uso de hidrógeno (que aún no se utiliza en el transporte), la venta y uso de vehículos que empleen estas fuentes de energía aún es baja a nivel global, no obstante hay excepciones como en Corea, que cuenta con un numeroso parque automotriz en base a LPG, o Brasil que lidera las ventas de vehículos de combustión flexible que mezclan el uso de gasolina y etanol, donde éste último es producido a partir de la caña de azúcar y su costo es competitivo en relación al petróleo (Sims et al., 2014; OECD/IEA, 2009).

4. Promover cambios en la conducta de los consumidores

A estas formas de mitigación también se adiciona el factor cultural, ya que es posible reducir los niveles de emisión cambiando ciertas conductas, en especial las relacionadas con el uso de vehículos livianos. Por ejemplo, privilegiar el caminar o andar en bicicleta en reemplazo del vehículo, cuando las condiciones lo permiten; o el cambio de prácticas de manejo de vehículos tan básicas como realizar desaceleraciones y aceleraciones suaves, mantener una presión adecuada en los neumáticos, reducir las velocidades máximas, mantener las revoluciones por minuto del motor en rangos bajos, o apagar el motor durante esperas largas. Este tipo de acciones se pueden incentivar a través de políticas públicas de planificación urbana y de mejoras en la infraestructura y sistemas de transporte público (por ejemplo: la enseñanza del eco-driving está incorporado en el currículo escolar de Holanda).

5. Acciones propuestas internacionalmente

En el marco de las Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación, 6 han sido las principales acciones propuestas internacionalmente:

- Mejoras al transporte urbano en general (Brasil, Chile, Colombia, Indonesia, Jordania, Laos, y México).
- Incorporación de vehículos eléctricos (Chile, Colombia, y Sudáfrica).
- Mejoras en la eficiencia de los vehículos (Chile, Colombia, y México).
- Mejoras en el flujo vehículos (Chile).
- Operación intermodal (Argentina, Etiopia, India, y Sudáfrica).
- Transporte público (Egipto, Líbano, y México).

A pesar de la existencia de estas propuestas, en la confección de las acciones de mitigación no se aprecia un enfoque sistémico que planifique el sector transporte y su interrelación con otros.

D. Acciones de mitigación en Honduras¹⁴

Las acciones de mitigación para Honduras, están enmarcadas dentro de la Estrategia Nacional de Cambio Climático la cual, es la base para todas las acciones de políticas nacionales con respecto al cambio climático. A lo anterior se suma la ley de cambio climático promulgada en 2014. Para el caso de las acciones de mitigación, existe la ley para la producción y consumo de biocombustibles (2007 y 2013), y el decreto de incentivos a la generación de electricidad con recursos renovables (2013).

En cuanto a las acciones de mitigación que se encuentran en marcha están:

- i) El programa de transporte público BRT para el Distrito Central (Tegucigalpa y Comayagüela) que incluye la construcción de vías segregadas para el transporte público y la implementación de un sistema centralizado de operaciones de transporte. Las medidas consideran una mejora en la oferta actual de transporte público. Por medio de ella, se espera obtener ganancias en eficiencia,

¹⁴ <https://publications.iadb.org/handle/11319/7286?locale-attribute=en>

y estimular el cambio de modales, es decir, del transporte privado hacia el transporte público. El alcance de estas medidas incluye las principales ciudades como Tegucigalpa y San Pedro Sula en lo relativo a un nuevo sistema de transporte masivo, y La Ceiba y Choloma en el caso de reestructuraciones del sistema actual. Con respecto al nivel de mitigación de GEI, se espera que este sea relevante, aun cuando el impacto final va a depender del éxito del nuevo sistema de transporte en cuanto a su capacidad para desviar la demanda del transporte privado. En total, se espera una mitigación de 400 000 toneladas de CO₂ para el 2020.

- ii) La promoción de biocombustibles a través de la ley de biocombustibles, la cual busca reducir las emisiones de GEI por kilómetro recorrido, por medio del fomento a la importación y producción de etanol y biodiesel. En este caso, el alcance de la medida es nacional, y se espera un nivel de mitigación modesto. No obstante, el efecto podría ser negativo si es que se considera el ciclo completo de producción de biocombustibles, donde podrían existir aumentos netos de GEI por efectos del cambio de uso de suelo.

Por otro lado, en la NAMA del sector se identifican las siguientes opciones de mitigación:

- i) Gestión de demanda de transporte: que corresponde a una serie de medidas que buscan mejorar el uso de los sistemas de transporte. Estas medidas incluyen mejoras en el transporte público (que nos son incluidas aquí ya que se consideran en la NAMA de transporte público). Por otro lado, están aquellas medidas que estimulan la reducción del número diario de vehículos en circulación en las principales ciudades. Lo anterior se complementará con un aumento de las zonas peatonales y las ciclovías: el objetivo es evitar y reducir los viajes motorizados. El alcance de esta medida es nacional, pero con especial énfasis en ciudades grandes y medianas (hasta 250 000 habitantes). Dado el sistema institucional hondureño, se espera un impacto en la mitigación de GEI de 10 000 tCO₂ al 2020, en grandes ciudades.
- ii) Eficiencia en vehículos en operación: consiste en reducir el consumo de combustible de la flota actual por medio de mejoras técnicas y de capacitación. El alcance de esta medida es nacional, y se espera un nivel de mitigación muy alto (5-10% de las emisiones actuales), aún cuando el impacto final va a depender de la extensión real de las medidas aplicadas.
- iii) Incentivos para mejoras tecnológicas en el sector transporte, recambio a vehículos más limpios y con menor consumo de combustible, ya sea por medio de subsidios o por aumentos en las normas técnicas. El objetivo es reducir el nivel de GEI por kilómetro recorrido. Su potencial de mitigación es alto, en el caso de que las nuevas exigencias técnicas sean altas (10-20% de reducción de GEI en 10 años). No obstante, si el enfoque solo considera subsidios para el recambio, los impactos sobre la emisión de GEI serán modestos, ya que los recursos financieros para incentivar el cambio, siempre serán limitados.
- iv) Carga urbana: Considera una serie de acciones tendientes a reducir el nivel de emisiones asociadas al sector de carga urbana. Las medidas se centran en mejorar la eficiencia operativa del transporte de carga, aumentando la tasa de ocupación de vehículos (sólo por poner un ejemplo). El objetivo, es reducir el nivel de GEI por kilómetro recorrido, así como la reducción de las distancias recorridas. Su potencial de mitigación es limitado (10 000 tCO₂), aun cuando su implantación no implica grandes recursos financieros.
- v) Transporte por ferrocarril: iniciar el cambio modal del transporte por carretera hacia el ferrocarril. Lo anterior, tanto para el transporte de pasajeros, como para el de carga. Su potencial de mitigación de GEI se estima bajo, y considerando los recursos necesarios para mejorar la red ferroviaria actual, el costo asociado sería muy elevado.

Dadas las características de las acciones propuestas, existe la posibilidad de sobre-posición de algunas NAMAs, lo cual podría incidir en una doble contabilización de los resultados en términos de emisiones de GEI, al no poder diferenciar los impactos de implementar más de una NAMA en forma simultánea. Por ejemplo, al implementar una mejora tecnológica y al mismo tiempo aumentar la eficiencia del sistema, impediría identificar qué proporción de la reducción de emisiones corresponde a cada NAMA. Lo anterior impone desafíos a los mecanismos de reporte y verificación asociados a cada una.

VI. Conclusiones

Según la información revisada en diversos organismos internacionales (IPCC; IEA, OECD, World Bank), existe consenso sobre el impacto que tienen las emisiones del sector transporte, y su relación con el fenómeno de cambio climático. Se espera que el crecimiento del transporte y su correspondiente demanda de energía tienda a exacerbar los actuales niveles de externalidades asociadas a contaminación atmosférica, congestión y emisiones de GEI. Esta situación no es ajena a Honduras, donde el sector transporte es responsable de una proporción relevante de emisiones de GEI, aun cuando el aporte del país a las emisiones globales es menor.

Como resultado de la revisión de literatura, se identificó que la demanda de combustible derivada del consumo de transporte (ya sea individual o público). Razón que la que el impacto del crecimiento económico, y su consiguiente incremento en los ingresos de las personas aumentará la demanda de vehículos y de transporte, aumentado también la demanda por energía (elasticidad ingreso positiva). Por el contrario, la elasticidad precio es negativa pero inelástica sugiriendo que los instrumentos de precios tendrán un efecto negativo en la demanda, pero acotados en magnitud dada la inelasticidad de la demanda. El efecto conjunto es que aumentos de precios serán compensados en el largo plazo por los aumentos en el ingreso de las familias.

Es por esta razón que el logro de los objetivos de reducción de GEI requiere la aplicación conjunta de distintos tipos de política pública que se complementen con el objeto de modificar la conducta de los consumidores y productores hacia decisiones más amigables con el medio ambiente.

La experiencia internacional sugiere la implementación de una serie de acciones de políticas tendientes a disminuir el consumo de energía en el sector transporte, que van desde cambios tecnológicos (vehículos eléctricos) hasta sistemas integrados de transporte público, incluyendo también cambios sociales que afecten la forma en que las personas se movilizan (por ejemplo: incentivos al uso de la bicicleta). Todas estas acciones tienen el potencial de reducir el consumo de combustible, y por consiguiente generar una reducción en la emisión de GEI. No obstante, para que dichas políticas sean efectivas se requiere de un diseño cuidadoso de incentivos que no sólo involucre al sector transporte, sino a todos los sectores económicos relacionados con el fin de evitar efectos no deseados.

Al respecto, la política hondureña está correctamente alineada con estos resultados ya que está impulsando la implementación de un programa de transporte público urbano sostenible en las principales ciudades del país, busca una reducción de emisiones de carbono, ahorros en combustible, mejoras en la calidad del aire entre otros beneficios y el mejoramiento de la eficiencia de vehículos en operación a nivel nacional, la cual estará enfocada en el ahorro de combustible y la reducción de GEI.

Es posible que un análisis del comportamiento de los consumidores (y productores) a los distintos diseños de estas políticas sea necesario para ajustar adecuadamente las políticas a las preferencias de la ciudadanía con el fin de maximizar el impacto en la reducción de emisiones, las mejoras en la calidad del aire y accidentalidad, y en definitiva en la calidad de vida de los hondureños.

Bibliografía

- Achtnicht, M. (2012). German car buyers' willingness to pay to reduce CO₂ emissions. *Climatic Change*, 113(3-4), 679-697.
- Aggarwal, P., & Jain, S. (2014). Energy demand and CO₂ emissions from urban on-road transport in Delhi: current and future projections under various policy measures. *Journal of Cleaner Production*.
- Akinboade, O. A., Ziramba, E., & Kumo, W. L. (2008). The demand for gasoline in South Africa: An empirical analysis using co-integration techniques. *Energy Economics*, 30(6), 3222-3229.
- Alves, D. C., & da Silveira Bueno, R. D. L. (2003). Short-run, long-run and cross elasticities of gasoline demand in Brazil. *Energy Economics*, 25(2), 191-199.
- Archibald, R., & Gillingham, R. (1980). An analysis of the short-run consumer demand for gasoline using household survey data. *The Review of Economics and Statistics*, 622-628.
- Baltagi, B. H., Bresson, G., Griffin, J. M., & Piroette, A. (2003). Homogeneous, heterogeneous or shrinkage estimators? Some empirical evidence from French regional gasoline consumption. *Empirical Economics*, 28(4), 795-811.
- Banaszak, S., Chakravorty, U., & Leung, P. (1999). Demand for ground transportation fuel and pricing policy in Asian tigers: a comparative study of Korea and Taiwan. *The Energy Journal*, 145-165.
- Belhaj, M. (2002). Vehicle and fuel demand in Morocco. *Energy Policy*, 30(13), 1163-1171.
- Berndt, E. R., & Botero, G. (1985). Energy demand in the transportation sector of Mexico. *Journal of Development Economics*, 17(3), 219-238.
- Birol, F., & Guerer, N. (1993). Modelling the transport sector fuel demand for developing economies. *Energy Policy*, 21(12), 1163-1172.
- Ceylan, H., Ceylan, H., Haldenbilen, S., & Baskan, O. (2008). Transport energy modeling with meta-heuristic harmony search algorithm, an application to Turkey. *Energy Policy*, 36(7), 2527-2535.
- Chakravorty, U., Fesharaki, F., & Zhou, S. (2000). Domestic demand for petroleum in OPEC countries. *OPEC Review*, 24(1), 23-52.
- Cheung, K.-Y., & Thomson, E. (2004). The demand for gasoline in China: a cointegration analysis. *Journal of Applied Statistics*, 31(5), 533-544.
- Dahl, C. (2001). Estimating oil product demand in Indonesia using a cointegrating error correction model. *OPEC Review*, 25(1), 1-25.
- Dahl, C. (2012). Measuring global gasoline and diesel price and income elasticities. *Energy Policy*, 41, 2-13.
- De Vita, G., Endresen, K., & Hunt, L. C. (2006). An empirical analysis of energy demand in Namibia. *Energy Policy*, 34(18), 3447-3463.
- EEA (2010). *Towards a resource-efficient transport system: TERM 2009: indicators tracking transport and environment in the European Union*. Retrieved from <http://www.eea.europa.eu/publications/towards-a-resource-efficient-transport-system>.
- EIA (2016a). Energy use for transportation. *Use of energy in the United States explained*. Retrieved from <http://www.eia.gov/Energyexplained/index.cfm>

- _____ (2016b). Model Documentation. Retrieved from <https://www.eia.gov/reports/#S222>
- EPA (2015). Global greenhouse gas emissions data. Retrieved from <http://www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/global.html>
- _____ (2004). *Update of methane and nitrous oxide emission factors for on-highway vehicles*. Retrieved from <https://www3.epa.gov/otaq/models/ngm/420p04016.pdf>.
- Galindo, L. M., et al. (2015). Meta-análisis de las elasticidades ingreso y precio de la demanda de gasolina: implicaciones de política pública para América Latina. *Revista CEPAL*.
- Gardner, B., & Abraham, C. (2008). Psychological correlates of car use: A meta-analysis. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 11(4), 300-311.
- Gomez, J. M. (2010). *Fuels demand by light vehicles and motorcycles in Brazil*. Paper presented at the IAEE's Rio 2010 International Conference.
- Green, E., & Stone, V. (2004). Public attitudes to road pricing in the UK: a qualitative study. *DfT, London*.
- Haldenbilen, S., & Ceylan, H. (2005). Genetic algorithm approach to estimate transport energy demand in Turkey. *Energy Policy*, 33(1), 89-98.
- Heckman, J. J. (1977). Sample selection bias as a specification error (with an application to the estimation of labor supply functions): National Bureau of Economic Research Cambridge, Mass., USA.
- Hensher, D. A., et al. (2005). *Applied choice analysis: a primer*. Cambridge University Press.
- Hill, N., Brannigan, et al. (2012). Developing a better understanding of the secondary impacts and key sensitivities for the decarbonisation of the EU's transport sector by 2050. *Final project report produced as part of a contract between European Commission Directorate-General Climate Action and AEA Technology plc*.
- Hoen, A., & Koetse, M. J. (2012). *A choice experiment on AFV preferences of private car owners in the Netherlands*. Retrieved from _____
- IEA (2015a). *CO₂ Emissions from Fuel Combustion Highlights*.
- _____ (2015b). Desarrollo de Indicadores para el Sector Transporte. In I. E. Agency (Ed.), *Indicadores de Eficiencia Energética: Bases Esenciales para el Establecimiento de Políticas*.
- _____ (2015c). *Key World Energy Statistics 2015*: International Energy Agency.
- _____ (2015d). World Energy Model.
- IEA (2009). *Transport Energy and CO₂: Moving Towards Sustainability*: International Energy Agency.
- IMF (2008). *Climate Change and the Global Economy (1557757739)*. Retrieved from <https://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2008/01/pdf/c4.pdf>.
- INE (2015). *ombustibles en Honduras*. Retrieved from <http://www.ine.gob.hn/index.php/component/content/article?id=104>
- _____ (2014). *El Parque Vehicular en Honduras*. Retrieved from <http://www.ine.gob.hn/index.php/component/content/article?id=104>
- IPCC (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Retrieved from <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/>
- _____ (2014). Transport Climate Change 2014: mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In I. P. o. C. Change (Ed.), (Vol. 3): Cambridge University Press.
- Kahn Ribeiro, S., Kobayashi, et. al. (2007). Climate change: Transport and its infrastructure. 323-385.
- Kayser, H. A. (2000). Gasoline demand and car choice: estimating gasoline demand using household information. *Energy Economics*, 22(3), 331-348.
- Kim, Y. D., Han, H. O., & Moon, Y. S. (2011). The empirical effects of a gasoline tax on CO₂ emissions reductions from transportation sector in Korea. *Energy Policy*, 39(2), 981-989.
- Lebeau, K., Van Mierlo, J., Lebeau, P., Mairesse, O. & Macharis, C. (2012). The market potential for plug-in hybrid and battery electric vehicles in Flanders: A choice-based conjoint analysis. *Transportation Research Part D: transport and environment*, 17(8), 592-597.
- Link, C., Raich, U., Sammer, G. & Stark, J. (2012). Modeling demand for electric cars a methodical approach. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 48, 1958-1970.
- López, R. A. H. & Pérez, J. L. I. (2000). Cálculo de la elasticidad precio de la demanda de gasolina en la zona fronteriza norte de México.
- Máca, V., Eberle, A., Pearson, et. al. (2013). *Climate policies and the transport sector analysis of policy instruments, their interactions, barriers and constraints, and resulting effects on consumer behaviour*. Retrieved from <http://cecilia2050.eu/publications/166>
- Manning, F., & Winston, C. (1985). Vehicle demand and the demand for new car fuel efficiency. *Rand J. Econ*, 16, 215-236.

- Mellios, G., et al. (2011). *Parameterisation of fuel consumption and CO₂ emissions of passenger cars and light commercial vehicles for modelling purposes*. Retrieved from http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/111111111/22474/1/co2_report_jrc_format_final2.pdf
- Murat, Y. S., & Ceylan, H. (2006). Use of artificial neural networks for transport energy demand modeling. *Energy Policy*, 34(17), 3165-3172.
- Nijland, H., Mayeres, I., Manders, T., Michiels, H., Koetse, M. & Gerlagh, R. (2012). *Use and effectiveness of economic instruments in the decarbonisation of passenger cars*. Retrieved from <http://www.pbl.nl/en/publications/2012/use-and-effectiveness-of-economic-instruments-in-the-decarbonisation-of-passenger-cars>
- Olivier, J. G., Janssens-Maenhout, G., & Peters, J. A. (2012). Trends in global CO₂ emissions: 2012. Report: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency The Hague.
- ONU. (2009). *Clasificación Industrial Internacional Uniforme de Todas las Actividades Económicas (CIIU)*. Retrieved from https://unstats.un.org/unsd/publication/SeriesM/seriesm_4rev4s.pdf
- Ou, X., Zhang, X., & Chang, S. (2010). Scenario analysis on alternative fuel/vehicle for China's future road transport: Life-cycle energy demand and GHG emissions. *Energy Policy*, 38(8), 3943-3956.
- Polemis, M. L. (2006). Empirical assessment of the determinants of road energy demand in Greece. *Energy Economics*, 28(3), 385-403.
- Pukšec, T., Krajačić, G., Lulić, Z., Mathiesen, B. V. & Duić, N. (2013). Forecasting long-term energy demand of Croatian transport sector. *Energy*, 57, 169-176.
- Radchenko, S., & Tsurumi, H. (2006). Limited information Bayesian analysis of a simultaneous equation with an autocorrelated error term and its application to the US gasoline market. *Journal of Econometrics*, 133(1), 31-49.
- Rao, B. B., & Rao, G. (2009). Cointegration and the demand for gasoline. *Energy Policy*, 37(10), 3978-3983.
- Reyes, O., Escalante, R., & Matas, A. (2010). La demanda de gasolinas en México: Efectos y alternativas ante el cambio climático. *Economía: teoría y práctica* (32), 83-111.
- Sa'ad, S. (2009). An empirical analysis of petroleum demand for Indonesia: An application of the cointegration approach. *Energy Policy*, 37(11), 4391-4396.
- _____. (2009). Transportation demand for petroleum products in Indonesia: a time series analysis. *OPEC Energy Review*, 33(2), 140-154.
- Schipper, L., Cordeiro, M. & Wei-Shiuen, N. (2007). *Measuring the carbon dioxide impacts of urban transport projects in developing countries*. Retrieved from <http://pdf.wri.org/measuring-co2-impacts-transport-projects-developing-countries.pdf>.
- Schipper, L., Marie-Lilliu, C., & Gorham, R. (1999). *Transportation and CO₂ Emissions: Flexing the Link--a Path for the World Bank*. Washington DC: The World Bank.
- Scholl, L., Celse-L'Hoste, M., Quintanilla, O., & Linares, A. M. (2014). Climate Change and IDB: Building resilience and reducing emissions, sector study: transport.
- SERNA (2009). *Elaboración de la Política Energética y Plan Energético Nacional al 2030, Diagnóstico energético del sector transporte*.
- _____. (2008). *Segundo inventario de emisiones y sumideros de gases efecto invernadero en Honduras año 2000*.
- Söderbom, M., Teal, F., et al. (2014). *Empirical development economics*: Routledge.
- Sterner, T., Dahl, C., & Franzen, M. (1992). Gasoline tax policy, carbon emissions and the global environment. *Journal of Transport Economics and Policy*, 109-119.
- Taylor, M. A. (2007). Voluntary travel behavior change programs in Australia: The carrot rather than the stick in travel demand management. *International Journal of Sustainable Transportation*, 1(3), 173-192.
- Taylor, M. A., & Ampt, E. S. (2003). Travelling smarter down under: policies for voluntary travel behaviour change in Australia. *Transport Policy*, 10(3), 165-177.
- Wadud, Z., Graham, D. J., & Noland, R. B. (2010). Gasoline demand with heterogeneity in household responses. *The Energy Journal*, 47-74.
- _____. (2009). Modelling fuel demand for different socio-economic groups. *Applied Energy*, 86(12), 2740-2749.
- Wohlgenuth, N. (1997). World transport energy demand modelling: methodology and elasticities. *Energy Policy*, 25(14), 1109-1119.
- Zelaya, S., et al. (2015). Identificación y priorización de Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMA) en los sectores de agricultura, transporte y eco-fogones en Honduras.
- Ziegler, A. (2012). Individual characteristics and stated preferences for alternative energy sources and propulsion technologies in vehicles: A discrete choice analysis for Germany. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(8), 1372-1385.

Anexos

Anexo 1 Factores de conversión

Cuadro A.1
Factores de conversión de CO₂

Tipo de combustible	Valor por defecto (kg/TJ)	Rango inferior	Rango superior
Gasolina	69 300	67 500	73 000
Gas/Diesel oil	74 100	72 600	74 800
L.P.G	63 100	61 600	65 600
Queroseno	71 900	70 800	73 700
Lubricantes	73 300	71 900	75 200
Gas natural	56 100	54 300	58 300
Gas licuado	56 100	54 300	58 300

Fuente: (IPCC, 2006).

En el caso del CH₄ y N₂O, el nivel de emisiones es dependiente del tipo de combustión que se genere, así como de los sistemas de control de emisiones existentes, por lo que el uso de factores de emisión que no consideren la tecnología del vehículo tienen asociado un alto nivel de incertidumbre. En los siguientes cuadros (15 y 16) se presentan los factores de emisión utilizados tanto en EEUU como en la Unión Europea.

Cuadro A.2
Factores de emisión en EEUU

Tipo vehículo	Control de emisiones	Factores de emisión N ₂ O (mg/km)		Factores de emisión CH ₄ (mg/km)	
		Caliente mg/km	Partida mg/partida	Caliente mg/km	Partida mg/partida
Vehículo a gasolina	Vehículo de baja emisión	0	90	6	32
	Catalítico de 3 vías (avanzado)	9	113	7	55
	Catalítico de 3 vías (antiguo)	26	92	39	34
	Oxidation catalyst	20	72	82	9
	Non-oxidation catalyst	8	28	96	59
	Uncontrolled	8	28	101	62
	Avanzado	1	0	1	-3
Vehículo diésel	Moderado	1	0	1	-3
	Sin control	1	-1	1	-3
	Vehículo de baja emisión	1	59	7	46
Vehículo de trabajo liviano (gasolina)	Catalítico de 3 vías (avanzado)	25	200	14	82
	Catalítico de 3 vías (antiguo)	43	153	39	72
	Oxidation catalyst	26	93	81	99
	Non-oxidation catalyst	9	32	109	67
	Sin control	9	32	116	71
Vehículo de trabajo liviano (diésel)	Avanzado y moderado	1	-1	1	-4
	Sin control	1	-1	1	-4
Vehículo de trabajo pesado (gasolina)	Vehículo de baja emisión	1	120	14	94
	Catalítico de 3 vías (avanzado)	52	409	15	163
	Catalítico de 3 vías (antiguo)	88	313	121	183
	Oxidation catalyst	55	194	111	215
	Non-oxidationcatalyst	20	70	239	147
Vehículo de trabajo pesado (diésel)	Sin control	21	74	263	162
	Todas las tecnologías	3	-2	4	-11
	Non-oxidation catalyst	3	12	40	24
	Sin control	4	15	53	33

Fuente: EPA (2004).

Cuadro A.3
Factores de emisión en la Unión Europea

Tecnología/Tipo Vehículo	Factores de emisión N ₂ O (mg/km)				Factores de emisión CH ₄ (mg/km)							
	Urbano		Rural	Carretera	Urbano		Rural	Carretera				
	Frío	Caliente			Frío	Caliente						
Vehículos de pasajeros	Gasolina	pre-Euro	10	10	6,5	6,5	201	131	86	41		
		Euro 1	38	22	17	8	45	26	16	14		
		Euro 2	24	11	4,5	2,5	94	17	13	11		
		Euro 3	12	3	2	1,5	83	3	2	4		
		Euro 4	6	2	0,8	0,7	57	2	2	0		
	Diésel	pre-Euro	0	0	0	0	22	28	12	8		
		Euro 1	0	2	4	4	18	11	9	3		
		Euro 2	3	4	6	6	6	7	3	2		
		Euro 3	15	9	4	4	7	3	0	0		
		Euro 4	15	9	4	4	0	0	0	0		
	LPG	pre-ECE	0	0	0	0						
		Euro 1	38	21	13	8		80	35	25		
Euro 2		23	13	3	2							
		Euro 3 y posterior	9	5	2	1						
Vehículos livianos de trabajo	Gasolina	pre-Euro	10	10	6,5	6,5	201	131	86	41		
		Euro 1	122	52	52	52	45	26	16	14		
		Euro 2	62	22	22	22	94	17	13	11		
		Euro 3	36	5	5	5	83	3	2	4		
		Euro 4	16	2	2	2	57	2	2	0		
	Diésel	pre-Euro	0	0	0	0	22	28	12	8		
		Euro 1	0	2	4	4	18	11	9	3		
		Euro 2	3	4	6	6	6	7	3	2		
		Euro 3	15	9	4	4	7	3	0	0		
		Euro 4	15	9	4	4	0	0	0	0		
	Vehículos pesados	Gasolina	Todas las tecnologías		6	6	6		140		110	70
			GVW<16t		30	30	30		85		23	20
Diésel		GVW>16t		30	30	30		175		80	70	
		Buses		30	30	30		175		80	70	
Motocicletas	Gasolina	pre-Euro 4							5400			
		Euro 4 y posterior			NA					900		
		<50 cm ³			1						219	
		>50 cm ³ 2-tiempos			2					150		
		>50 cm 4-tiempos			2					200		

Fuente: Mellios et al. (2011).

Anexo 2 Requerimientos de Información

Cuadro A.4
Modelos econométricos y no econométricos e información

Datos	Tipo de estimación	Autor	Modelo	País/año	Datos requeridos
Corte transversal	Modelo de selección de Heckman–2 etapas	Kayser (2000)	$\ln g_i = \beta_0 + \beta_1 \ln p_i + \beta_2 \ln m_i + \beta_3 (\ln m_i)^2$ $+ \beta_4 \ln m_i \ln p_i + \sum_{j=5}^J \beta_j W_{ij} + \varepsilon_i$ $C_i^* = \gamma_0 + \gamma_1 p_i + \gamma_2 m_i + \gamma_3 p c_i + \sum_{k=4}^K \gamma_k W_{ik} + v_i$	EEUU/1981	Consumo de gasolina, calculado como el número de millas, dividido por la eficiencia de combustible del vehículo; precio de la gasolina; ingreso; tenencia de a lo menos un automóvil; precio estimado del vehículo; ascendencia; estado civil; género; residencia urbana o rural; zona geográfica del país (en EEUU); composición etaria de la familia; condición laboral, nivel académico y edad del jefe de hogar y presencia de transporte público de calidad en la zona.
Series de tiempo	OLS	Chakravorty et al. (2000)	$\ln C_{ijt} = \alpha_{ij} + \beta_{ij} \ln P_{ijt} + \gamma_{ij} \ln GDP_{jt} + \delta_{ij} \ln C_{ijt-1}$	Argelia, Indonesia, Irán, Irak, Kuwait, Libia, Catar, Arabia Saudita, Emiratos Árabes Unidos, Venezuela/1972-1992	Consumo per cápita de petróleo; precio real del petróleo y PIB per cápita.
	OLS	Birol & Guerer (1993)	$\ln G_t = c + \alpha \ln Y_t + \beta \ln P_{g,t} + \delta \ln G_{t-1}$ $\ln D_t = c + \alpha \ln Y_t + \beta \ln P_{d,t} + \delta \ln D_{t-1}$	Malasia, Tailandia Marruecos, Túnez, Pakistán y Turquía/1970-1990	Demanda total de gasolina en el sector transporte; demanda total de diésel en el sector transporte; PIB real; población; precio real de la gasolina y precio real del diésel.
	Modelo de corrección de error (ECM)	Cheung & Thomson (2004)	$\ln q_t = \beta_0 + \beta_1 \ln y_t + \beta_2 \ln p_t + \varepsilon_t$ $\Delta q_t = \alpha_0 + \alpha_{1i} \Delta q_{t-1} + \varepsilon_{2i} \Delta y_{t-1} + \alpha_{3i} \Delta p_{t-1} + \alpha_4 ECT_{t-1} + \mu_t$	China/1980-1999	Consumo per cápita de gasolina en toneladas métricas; GDP per cápita real y precio real de la gasolina.
	Vectores de corrección de error (VECM)	Polemis (2006)	$\ln G_t = a_0 + a_1 \ln GDP_t + a_2 \ln RPG_t + a_3 \ln RPD_t + a_4 TREND + \mu$ $\ln D_t = b_0 + b_1 \ln GDP_t + b_2 \ln RPD_t + b_3 \ln RPG_t + b_4 \ln PARKD + \mu$	Grecia/1978-2003	Consumo per cápita de gasolina y diésel en carretera; PIB per cápita; precio real de la gasolina y el diésel; precio real del diesel y flota de vehículos per cápita alimentados por diésel.
	ARDL	De Vita et al. (2006)	$ed_t = \alpha + \beta_1 y_t + \beta_2 p_t + \beta_3 x_t$	Namibia/1980-2002	Consumo de energía; PIB y precio de la energía.
	Modelos de cointegración	Rao and Rao (2009)	$gas = \alpha_0 + \beta_1 y + \beta_2 p + \mu$	Fiji/1970-2005	Demanda de gasolina convertida a mega joule (MJ); PIB real y precio real de la gasolina.
	Modelo de corrección de error (ECM)	Akinboade et al. (2008)	$\ln G_t = \alpha_0 + \alpha_1 \ln Y_t + \alpha_2 \ln P_t + \varepsilon_t$ $\Delta \ln G_t = \alpha_0 + \sum \alpha_{1i} \Delta \ln G_{t-i} + \sum \alpha_{2i} \Delta \ln Y_{t-i} + \sum \alpha_{3i} \Delta \ln P_{t-i} + \eta_1 \ln Y_{t-1} + \eta_2 \ln P_{t-1} + \eta_3 \ln G_{t-1} + e_t$	Sudáfrica/1978-2005	Consumo per cápita de gasolina (kt per cápita); ingreso real per cápita y precio real de la gasolina (R/litro).

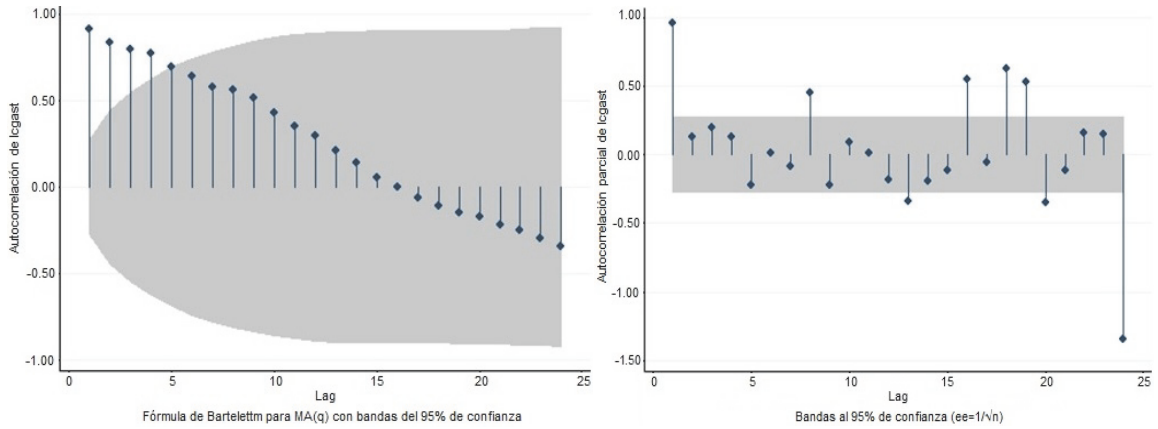
Cuadro A.4 (continuación)

Datos	Tipo de estimación	Autor	Modelo	País/año	Datos requeridos
	Modelo de corrección de error (ECM)	Alves & da Silveira (2003)	$\Delta \ln C_t = \alpha_0 + \alpha_1 \Delta \ln Y_t + \alpha_2 \Delta P_t + \alpha_3 \Delta \ln A_t + \alpha \hat{\epsilon}_{t-1} + \epsilon_t$	Brasil/1984-1999	Consumo de gasolina; PIB per cápita; precio de la gasolina y precio del alcohol (etanol).
	Bayesiano–ecuaciones simultáneas	Radchenko and Tsurumi (2006)	$\Delta \ln P_t = \gamma_{11} \Delta \ln J_t + \beta_{11} + \beta_{12}^+ \Delta \ln P_{oil,t}^+ + \beta_{12}^- \Delta \ln P_{oil,t}^- + \beta_{13} D_s + \beta_{14} D_w + \mu_{t1}$ $\ln \left(\frac{G_t}{W_t} \right) = \gamma_{21} \ln P_t + \beta_{21} + \beta_{22} \ln Z_t + \beta_{23} D_s + \beta_{24} D_w + \mu_{t2}$ $\ln J_t = \beta_{31} + \beta_{32} \ln J_{t-1} + \beta_{33} D_s + \beta_{34} D_w + \mu_{t3}$ $Q_t^s = G_t + J_t - J_{t-1}$	Estados Unidos/1975-2005	Producción de gasolina en millones de barriles; precio real de la gasolina al consumidor final, impuestos incluidos; precio FOB de importación de petróleo crudo desde países OPEP en millones de barriles; stock de vehículos que consumen gasolina en el período; consumo de gasolina en millones de barriles y ganancias promedio de empleados de la producción, en dólares.
	3SLS–Ecuaciones simultáneas	Belhaj (2002)	$V_t = \alpha_0 + \alpha_1 M_t + \alpha_2 T a_t + \alpha_3 P v_t + \alpha_4 P f_t + \mu_{1t}$ $F_t = \beta_0 + \beta_1 M_t + \beta_2 V_t + \beta_3 P f_t + \beta_4 F_{t-1} + \mu_{2t}$	Marruecos/1970-1996	Demanda de combustible; demanda de vehículos per cápita; ingreso (PIB real o deflactado per cápita); impuesto a la circulación promedio deflactado per cápita; índice de precio de vehículos y precio del combustible deflactado.
Panel	OLS	López & Pérez (2000)	$\ln Vol_{it} = \alpha_i + \beta_i \ln PRL_{it} + \gamma_i \ln PIBPC_{it}$ $\ln Vol_{it} = \alpha_i + \beta_i \ln PRL_{it} + \gamma_i \ln IVME_{it}$	Zonas fronterizas México-EEUU/1995-1999 (mens.)	Demanda total de gasolina en la zona fronteriza de México; precio relativo de gasolina respecto al precio de EEUU; PIB per cápita de la zona e índice de ventas al menudeo (proxy al ingreso).
	OLS (Función translog)	Archibald & Gillingham (1980)	$\ln g = \alpha + \beta_1 \ln p + \beta_2 \ln \pi + \beta_3 \ln y + \beta_4 \ln v + \sum \gamma_i \ln a_i + Interacciones$	EEUU 1973	Gasto promedio mensual en gasolina; gasto total del hogar; número de automóviles; índice de precios general y de la gasolina; género del jefe de hogar; ascendencia; locación del hogar (rural o urbano); zona geográfica (en de EEUU); edad y nivel académico del jefe de hogar; número de trabajadores en el hogar y su condición laboral; edad de los niños; familia monoparental o biparental; familia, individual u otro tipo y cilindraje del auto
	SUR e individual group wise OLS (Panel a nivel de quintiles)	Wadud et al. (2009)	$\ln G_{it} = C_i + \alpha_i \ln Y_{it} + \beta_i \ln P_t + \gamma_i \ln E_{it} + \delta_i S_{it} + \epsilon_{it}$	EEUU/1984-2003	Demanda promedio de combustible per cápita por hogar; ingreso promedio per cápita; precio promedio de la gasolina, en dólares por galón y número promedio de vehículos per cápita.
	GLS, Random Effects	Wadud et al. (2010)	$\ln G = \beta_Y \ln Y + \beta_P \ln P + \beta_{PY} \ln P \ln Y + \beta_{PP} (\ln P)^2 + \beta_{YY} (\ln Y)^2$	EEUU/1997-2002 (trimestral)	Consumo de gasolina por hogar; ingreso por hogar (se usa el gasto como proxy) y precio de la gasolina
	OLS con regresores exógenos, Within, GLS, 2SLS con regresores endógenos, Within 2SLS, 2SLS-KR, GMM, FD2SLS, FD2SLS-KR, FDGMM	Baltagi et al. (2003)	$\ln \left(\frac{GAS}{CAR} \right)_{i,t} = \theta \ln \alpha + (1 - \theta) \ln \left(\frac{GAS}{CAR} \right)_{i,t-1} + \theta \beta \ln \left(\frac{PMG}{PCPI} \right)_{i,t} + \theta \gamma \ln \left(\frac{Y}{N} \right)_{i,t} + \theta \delta \ln \left(\frac{CAR}{N} \right)_{i,t} + u_{i,t}$	Francia/1973-1998	Consumo de gasolina por vehículo; precio real de la gasolina, calculado como un índice de precio de combustible, deflactado por el índice de precios al consumidor; ingreso automóviles per cápita.

Cuadro A.4 (conclusión)

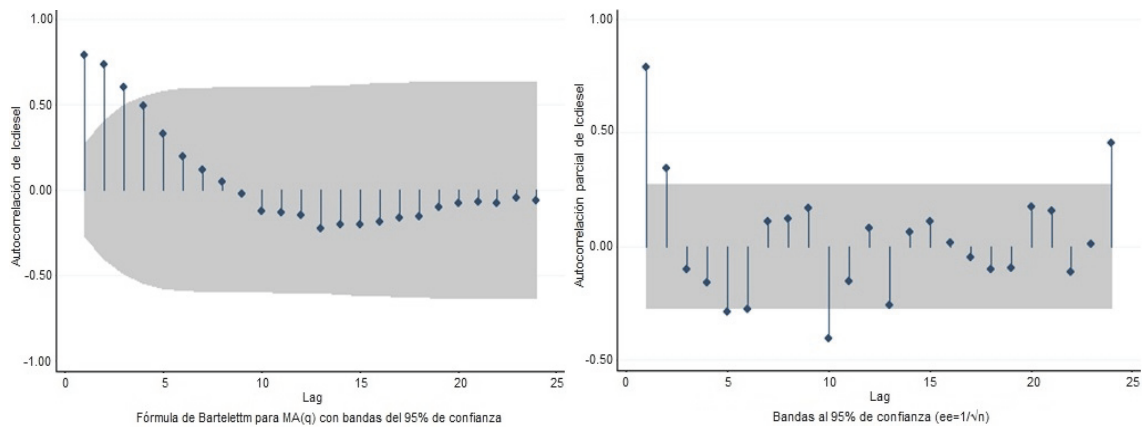
Datos	Tipo de estimación	Autor	Modelo	País/año	Datos requeridos
Mods no economé	Modelo activity-structure-energy intensity-fuel(ASIF)– Simulación de escenarios	Aggarwal & Jain (2014)	$E_{En} = \sum_k \left(\sum_{ji} A_k S_{ji} \frac{1}{M_{ji}} C_i \right)$ $E_{CO_2} = \sum_k \left(\sum_{ji} A_k S_{ji} E_{fi} \right) / 10^6$	Delhi/2007-2021 (proyecciones)	<p>Modo de transporte; tecnología del vehículo: 2 o 4 tiempos; tipo de combustible; actividad o demanda de viaje (en km.); estructura modal, en porcentaje; rendimiento de combustible (km/l o km/kg); valor calorífico del combustible (MJ/litro 1 MJ/kg) y factor de emisiones de carbono (g/km).</p> <p>Adicional: El estudio emplea distintos factores de emisiones y rendimientos de combustible en función de la vejez de los vehículos. Por lo tanto, se requiere saber el promedio de rendimiento y emisiones de vehículos con menos de 5 años, entre 5 y 10 años, entre 10 y 15 años, y mayores a 15 años.</p>
	Modelo de Demanda de Energía en Transporte (EDT)– Análisis de escenarios	Pukšec et al. (2013)	<p>Demanda de transporte en carretera:</p> $D_i^z = \sum_{i=1}^n (E_i^z M_i^z C v_i P_i^z C m_i Q_i) / 10^{11}$ <p>Demanda en transporte de ferrocarril:</p> $R^z = \sum_{i=1}^n e_i^z$ $e_i^z = \sum_{i=1}^n (m_i^z * a_i^z * b_i^z * q_i) / 10^6$ <p>Demanda en transporte aéreo:</p> $A^z = \sum_{i=1}^n (k_i^z * c n_i * q k_i^z) / 10^9$ <p>Demanda en transporte acuático:</p> $S^z = S r^z + S s^z$ $r^z = p^z * p p^z * C p^z$ $s^z = B^z * b b^z * C j^z$ <p>Demanda en transporte público de carretera:</p> $U_i^z = u_i^z * f e_i * t_i^z$	Croacia/2008-2050 (proyecciones)	<p>Para demanda de energía en transporte de carretera:</p> <p>Demanda de energía en una categoría <i>i</i> en transporte de carretera (PJ); número de vehículos de una cierta categoría; consumo de combustible de una determinada categoría de vehículo (litros/100km); índice de eficiencia de consumo de energía de un determinado combustible; uso de vehículos de una determinada categoría de transporte (km/año); Índice de eficiencia de uso y valor calorífico de cada tipo de combustible (MJ/litro).</p> <p>Demanda de transporte en ferrocarril:</p> <p>Demanda de energía del sector transporte (PJ); consumo de energía de un determinado tipo de vehículo (PJ); número de vehículos de un determinado tipo; uso promedio de un determinado tipo de vehículo (tiempo/año); índice de eficiencia energética de un determinado tipo de vehículo y valor calorífico de un tipo de vehículo (MJ/kg).</p> <p>Demanda del sector aéreo:</p> <p>Demanda de energía en sector aéreo (PJ); kilómetros recorridos; consumo anual de combustible (kg/km) y valor calorífico del combustible (MJ/kg).</p> <p>Demanda en sector acuático:</p> <p>Demanda de energía en sector acuático (PJ); consumo de energía en transporte de ríos y marítimo costero (PJ); consumo de combustible en transporte de ríos (t/año); potencia disponible (kW); consumo específico (t/kW); índice de eficiencia energética del consumo de combustible de transporte en ríos; consumo de combustible en transporte marítimo costero (t/año); número de naves; consumo específico de una nave (t/año); índice de eficiencia energética del consumo de combustible marítimo costero.</p> <p>Transporte público de carretera:</p> <p>Consumo de un determinado tipo de combustible y vehículo (t o kWh); índice de eficiencia energética de un determinado tipo de vehículo y número de vehículos</p>

Gráfico A.4
Autocorrelación y autocorrelación parcial (serie de consumo de gasolina)



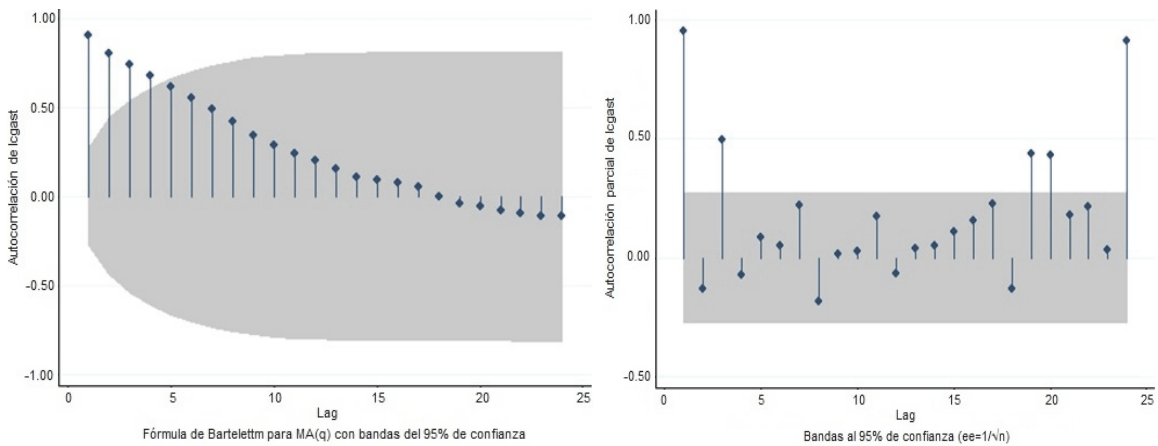
Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2015).

Gráfico A.5
Autocorrelación y autocorrelación parcial (serie de consumo de diésel)



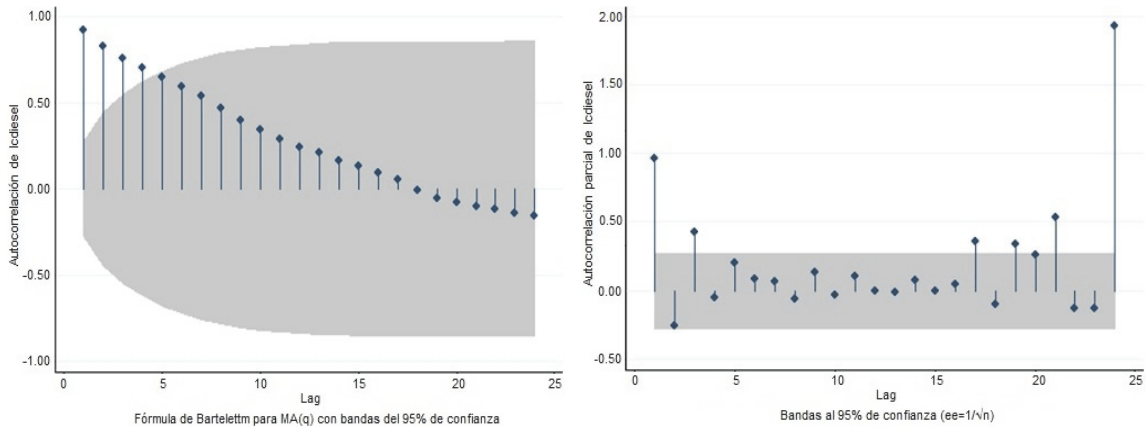
Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2015).

Gráfico A.6
Autocorrelación y autocorrelación parcial (serie de precio de gasolina)



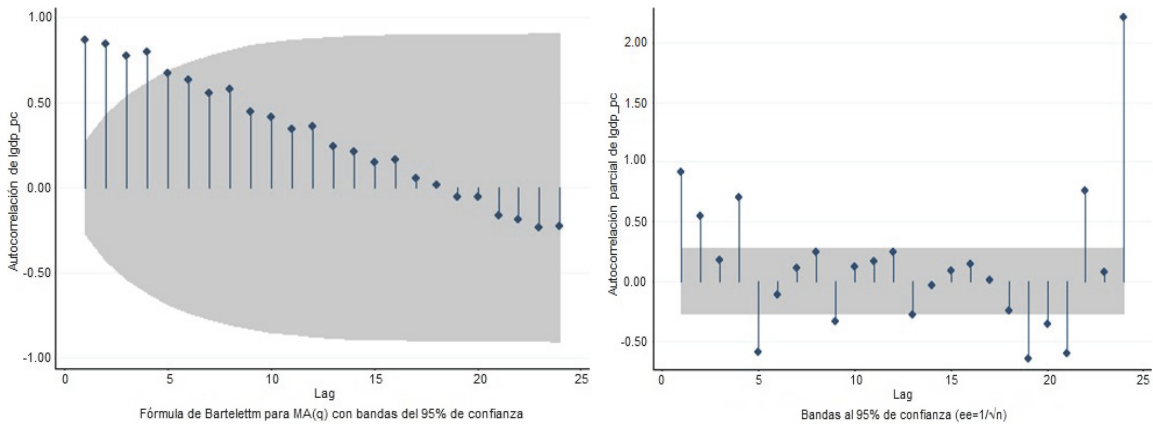
Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2015).

Gráfico A.7
Autocorrelación y autocorrelación parcial (serie de precio de diésel)



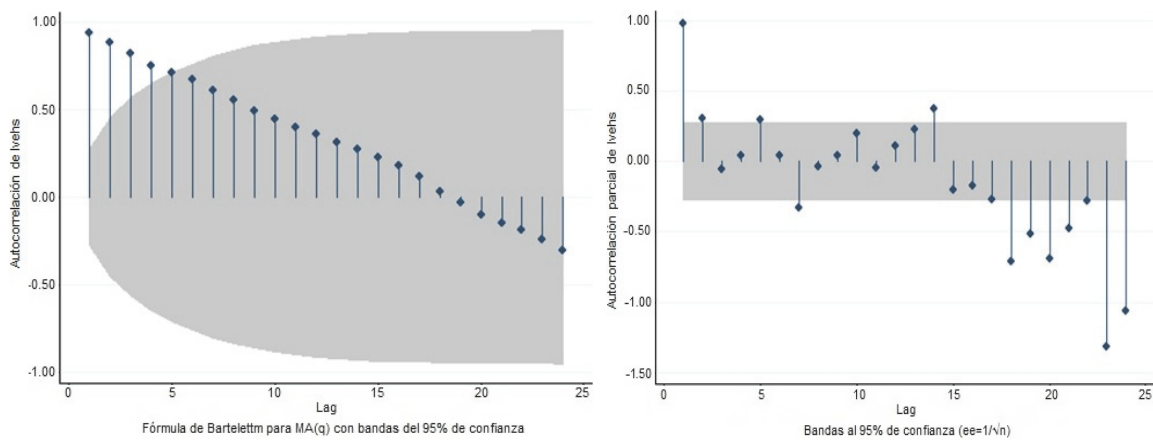
Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2015).

Gráfico A.8
Autocorrelación y autocorrelación parcial (serie de ingreso per cápita)



Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2015).

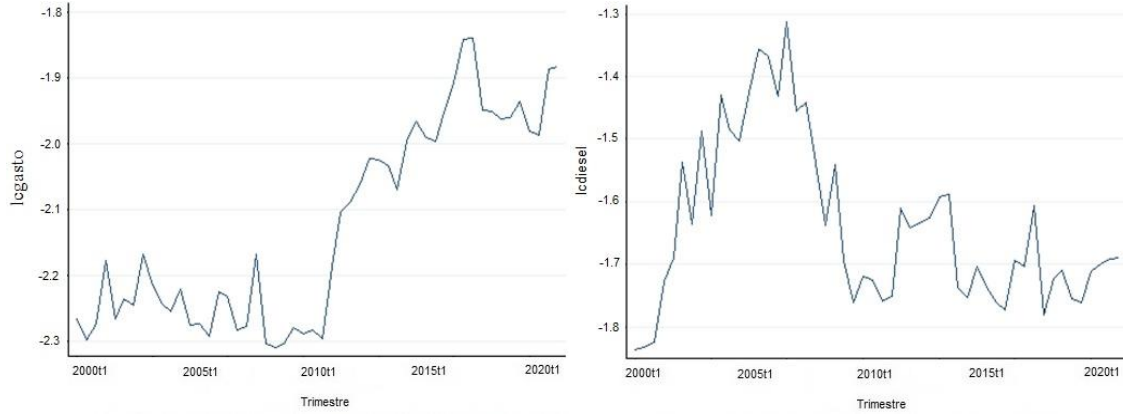
Gráfico A.9
Autocorrelación y autocorrelación parcial (serie de número de vehículos)



Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2015).

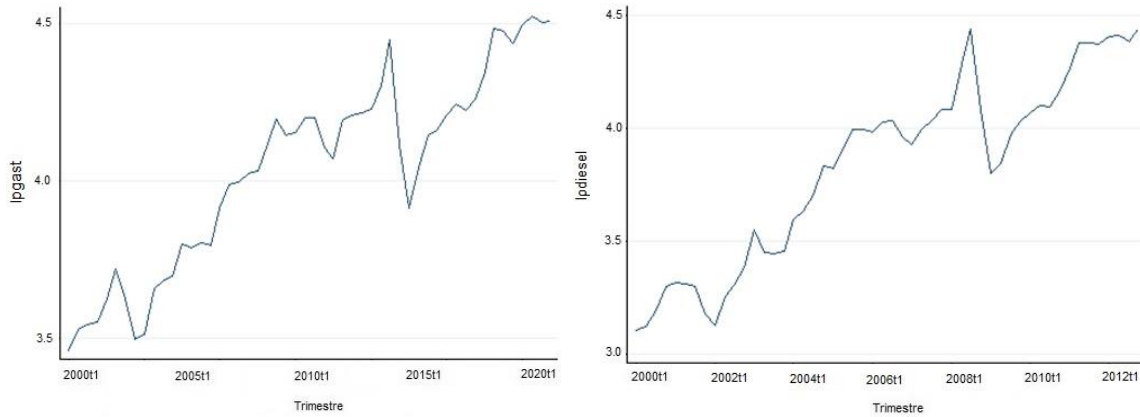
Anexo 3 Gráficas de los datos utilizados

Gráfico A.1
Gráficas temporales consumo de combustible



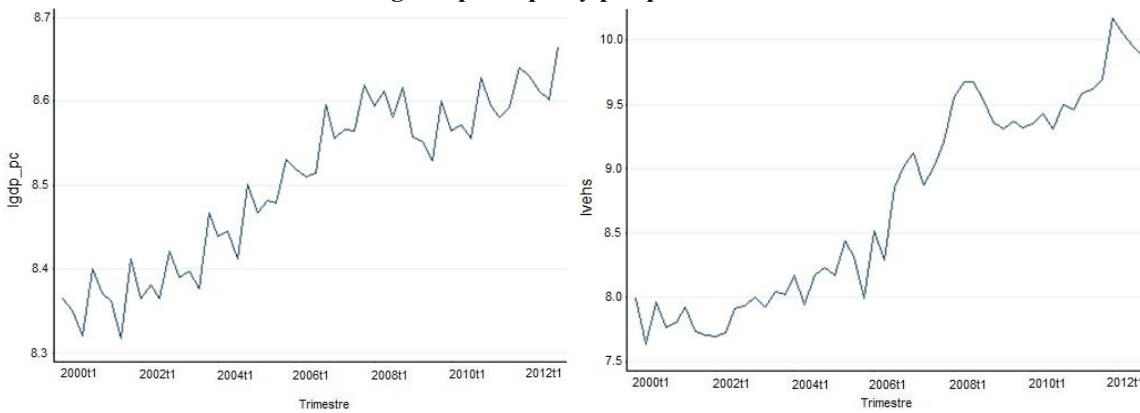
Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2015).

Gráfico A.2
Gráficas temporales precios de combustible



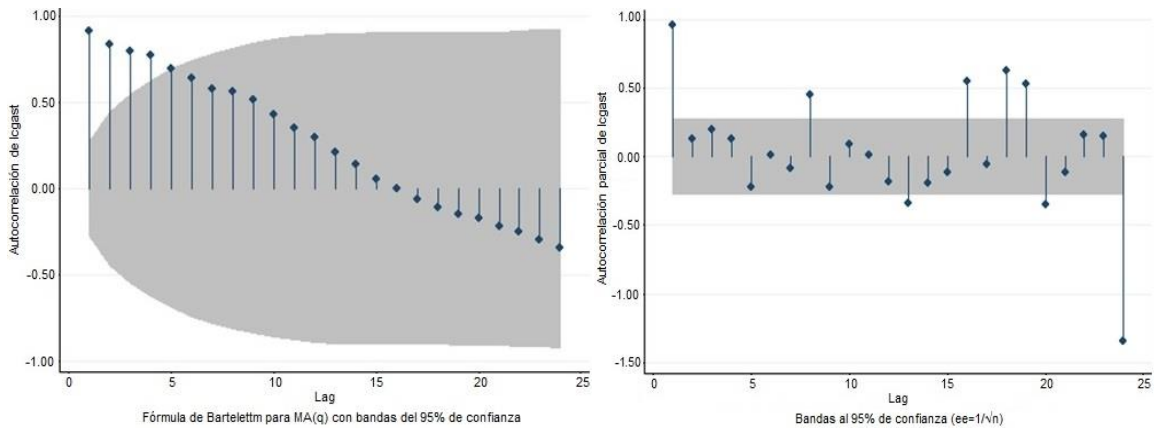
Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2015).

Gráfico A.3
Ingreso per cápita y parque vehicular



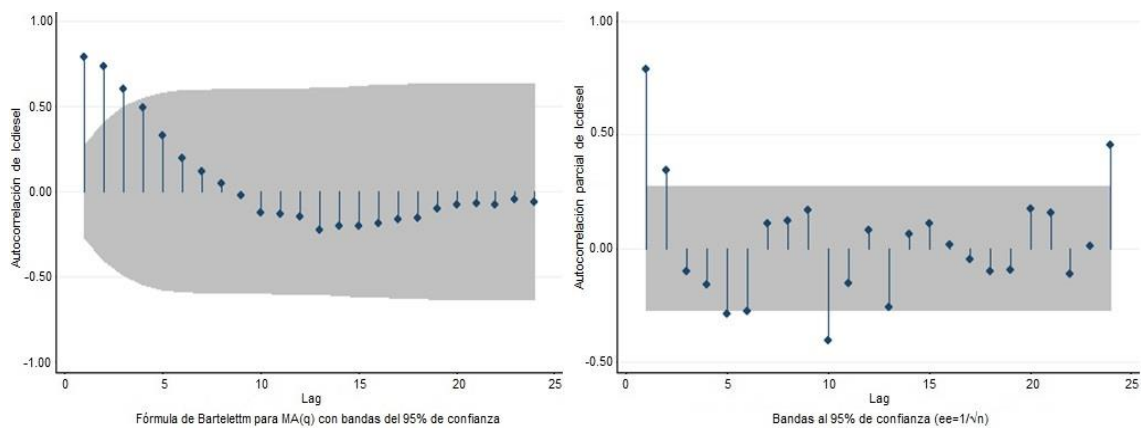
Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2015).

Gráfico A.4
Autocorrelación y autocorrelación parcial (serie de consumo de gasolina)



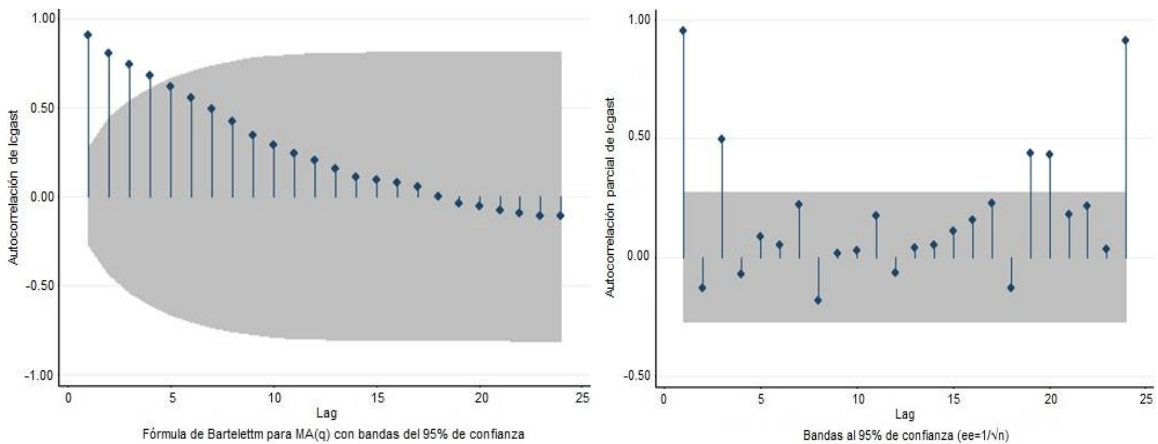
Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2015).

Gráfico A.5
Autocorrelación y autocorrelación parcial (serie de consumo de diésel)



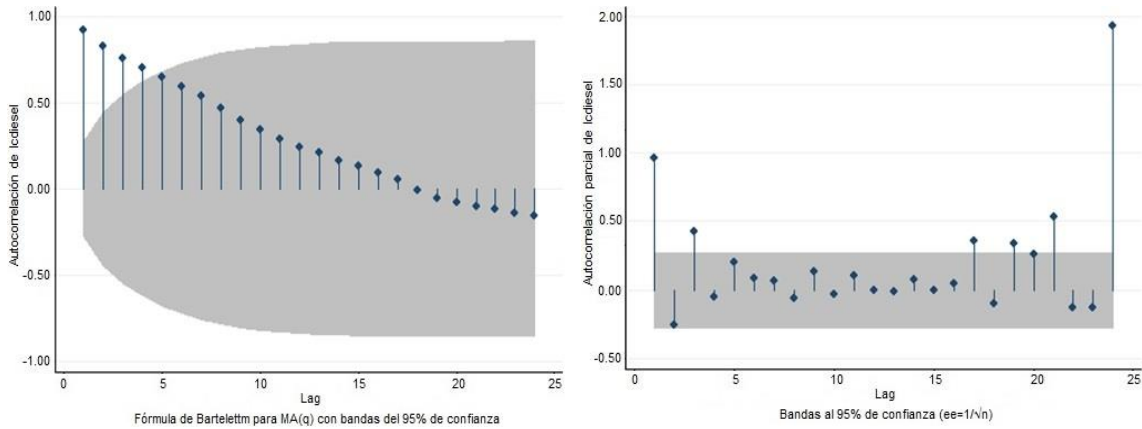
Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2015).

Gráfico A.6
Autocorrelación y autocorrelación parcial (serie de precio de gasolina)



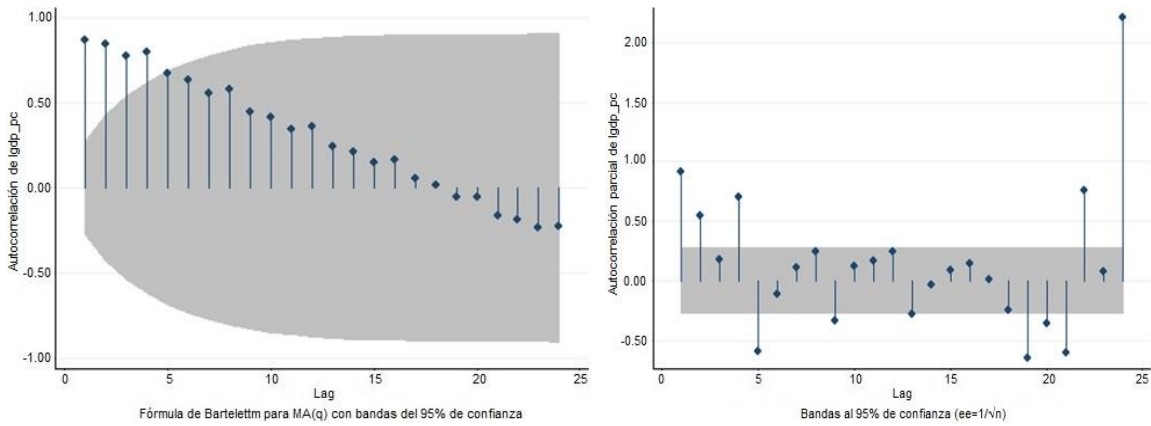
Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2015).

Gráfico A.7
Autocorrelación y autocorrelación parcial (serie de precio de diésel)



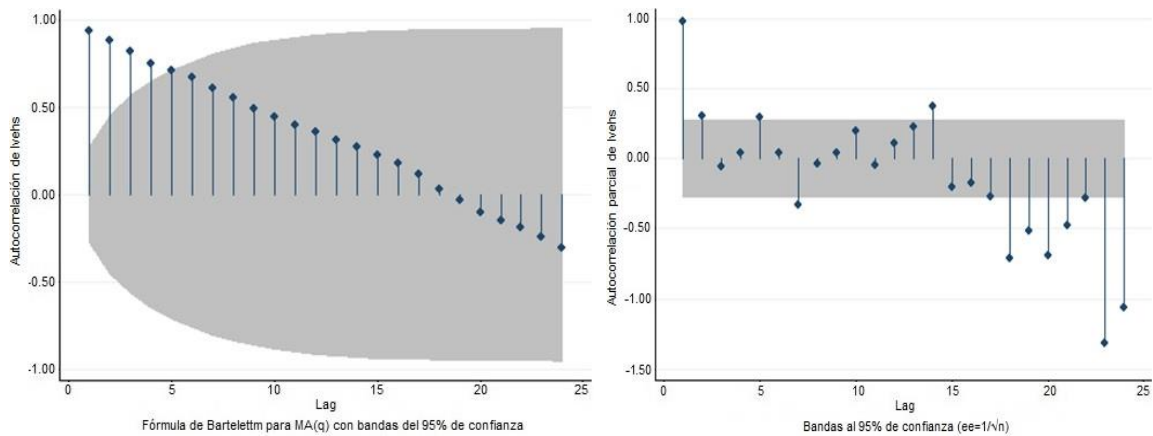
Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2015).

Gráfico A.8
Autocorrelación y autocorrelación parcial (serie de ingreso per cápita)



Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2015).

Gráfico A.9
Autocorrelación y autocorrelación parcial (serie de número de vehículos)



Fuente: Elaboración del autor con información de la SERNA (2015).

En este documento se estima la elasticidad precio e ingreso de la demanda por combustible en Honduras. El incremento en el PIB aumentará la demanda por transporte, aumentando la demanda por energía mientras que instrumentos de precios tendrán un efecto negativo pero acotado en la demanda, dada la baja elasticidad precio. Es decir, aumentos de precios serán compensados en el largo plazo por aumentos en ingreso. Por tanto, el logro de los objetivos de reducción de gases de efecto invernadero requiere la aplicación conjunta de distintos tipos de políticas que se complementen en el objetivo de modificar la conducta de consumidores.

La política hondureña está correctamente alineada con estos resultados ya que el país está impulsando un programa de transporte público urbano y de gestión de transporte, incluyendo cambios tecnológicos y socioculturales, que buscan una reducción de emisiones de carbono, ahorros en combustible y mejoras en la calidad del aire.

Para que dichas políticas sean efectivas se requiere un cuidadoso diseño de incentivos basado en un análisis del comportamiento de los consumidores a los distintos diseños de estas políticas para ajustar las políticas a las preferencias de la ciudadanía hondureña con el fin de maximizar el impacto en la reducción de emisiones.