

Edgar Enrique Miranda Sandoval, Lourdes Socarras Mérida, Cristian Fernando Guzmán Quaharre<sup>1</sup>

## RESUMEN

El establecimiento de un indicador de economía de combustible favorece la toma de decisiones para la implementación de políticas de descarbonización que permitan la incorporación de tecnologías eficientes en el sector transporte. En el año 2013, el consumo medio de combustible a nivel global se estableció con un valor de economía de combustible de 7.0 lge/100 km para vehículos ligeros LDVs. Para situar la condición de Guatemala, respecto a este punto de referencia global, en esta investigación se obtiene una línea base del consumo de energía de los vehículos LDVs importados a Guatemala en los años: 2005, 2008, 2010 y 2014, integrada por 287,395 vehículos que corresponden a un 87% del total de unidades ingresadas al país en ese período. Los resultados reflejan un comportamiento escalonado de los ciclos de conducción con un rendimiento teórico de economía de combustible promedio de 9.28 lge/100 km, la metodología aplicada perteneciente a un conjunto de ecuaciones establecidas por la iniciativa GFEI (Global Fuel Economy Initiative), permite estimar emisiones de referencia, que para este estudio se lograron estimar en 219.66 g CO<sub>2</sub>/km en este período. GFEI establece como objetivo global alcanzar un límite alrededor de: 4.2 de lge/100 km y 97.6 g CO<sub>2</sub>/km para 2030, indicando que es necesario planificar de forma sistemática reducciones anuales. Se utiliza el conjunto de herramientas FEPIT y el año base 2014 para modelar escenarios de adopción de estrategias que permitan alcanzar el objetivo global GFEI con una reducción anual del 3.1% a 2030. Los resultados obtenidos indican que el país puede alcanzar valores alrededor de 4.75 lge/100km y emisiones de 116. 2 g CO<sub>2</sub>/ para el 2030.

**Palabras clave:** Economía, combustible, emisiones de CO<sub>2</sub>, rendimiento de vehículos, vehículos ligeros LDVs.

## ABSTRACT

The establishment of a fuel economy indicator favors decision-making for the implementation of decarbonization policies that allow the incorporation of fossil fuel-efficient technologies in the transport sector. In 2013, the global average fuel consumption was established with a fuel economy value of 7.0 lge/100 km for light vehicles LDVs. To situate the condition of Guatemala, with respect to this global benchmark, this research obtains a baseline of energy consumption of LDVs vehicles imported into Guatemala in the years: 2005, 2008, 2010 and 2014, composed of 287,395 vehicles corresponding to 87% of the total units entered the country in that period. The results reflect a staggered behavior of the driving cycles with an average theoretical fuel economy performance of 9.28 lge/100 km, the applied methodology belonging to a set of equations established by the GFEI initiative (Global Fuel Economy Initiative), allows to estimate reference emissions, which for this study were estimated at 219.66 g CO<sub>2</sub>/km in this period. GFEI sets an overall target of reaching a limit of around: 4.2 lge/100 km and 97.6 g CO<sub>2</sub>/km by 2030, indicating that it is necessary to systematically plan annual reductions. The FEPIT toolkit and the 2014 base year are used to model strategy adoption scenarios to achieve the overall GFEI target with an annual reduction of 3.1% by 2030. The results obtained indicate that the country can reach values around 4.75 lge/100km and emissions of 116. 2 g CO<sub>2</sub>/km by 2030.

## Keywords:

Economy, fuel, CO<sub>2</sub> emissions, vehicle performance, light vehicle LDVs.

## INTRODUCCIÓN

La sociedad moderna se caracteriza por una gran facilidad de desplazamiento; se cubren distancias mayores en tiempos cada vez menores. Esta situación se ha hecho realidad debido a la amplia difusión del automóvil. (Caselli, 2000). El transporte por carretera es un factor clave para el desarrollo

<sup>1</sup> Instituto de Recursos Energéticos (IRE), UGAL, Guatemala. Edgar Enrique Miranda Sandoval. Máster en Energía Renovable. Unidad de Investigación. Lourdes Socarras Mérida. Máster en Energía Renovable y Eficiencia Energética. Directora del IRE. UGAL. [Smerida@galileo.edu](mailto:Smerida@galileo.edu). Cristian Fernando Guzmán Quaharre. Máster en Energía Renovable. Coordinación de investigación. IRE.UGAL. [cristianfer@galileo.edu](mailto:cristianfer@galileo.edu).

Fecha enviada: 2 de diciembre de 2021

Fecha corregida: 20 de diciembre 2021

social y económico y la cohesión de las distintas regiones del país. Sin embargo, tiene como contrapartida un elevado consumo energético y altos niveles de emisión de gases de efecto invernadero, además de producir congestión en las redes viarias y una elevada siniestralidad. (IDAE, 2005, Pág 3, párr.1). El sector transporte está en constante crecimiento y el consumo energía de uso final representan un 24% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. (Cuenot, 2013). El transporte automotor representa una de las fuentes que más contribuyen al uso de petróleo y la contaminación del aire local (Fulton, 2019). Para el año 2005, Guatemala registró 5,976.04 Gg de emisiones CO<sub>2</sub> (Segunda Comunicación de cambio climático, 2015), equivalentes a 5,976, 040 toneladas métricas en el sector transporte, correspondiente al 54% del total de emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector energía del país.

La Iniciativa Global de Economía de Combustibles ha establecido como objetivo global reducir el consumo de combustible de los vehículos para el año 2050 en relación con los niveles presentados en 2005. (GFEI-ICCT, 2019). Los vehículos ligeros, automóviles, camiones ligeros, incluidos SUV, minivans y camionetas pick-up personales denominados Light duty vehicles por sus siglas: LDVs, representan más de la mitad del uso de la carretera. El peso bruto de un vehículo ligero suele estar por debajo de los 3500 kilogramos o poseer una capacidad de 12 personas o menos. (Davies, IPCC, 2006). En 2013, se vendieron 78 millones de LDVs en todo el mundo, y el 54% se registró en países no pertenecientes a la OCDE. (GFEI-IEA, 2016).

La economía de combustible es un indicador del consumo de energía de un automotor en relación con la distancia recorrida (Fulton, 2012). A nivel global son reconocidos 2 modelos de ciclos de conducción o rendimiento, para hacer referencia a la economía de combustible de un automotor. El ciclo NEDC. (New European Driving Cycle), expresa los rendimientos en litros de gasolina equivalente por cada 100 kilómetros ( lge/100 km) y el ciclo U.S. CAFE expresa los rendimientos en millas por galón (mpg). Las diferencias entre los diferentes ciclos de conducción dependen generalmente del país o región donde son certificados u homologados los vehículos. La iniciativa GFEI ( Global Fuel Economy Initiative), utiliza la unidad de medida: lge/100 km, para hacer referencia a la economía de combustible o ciclo de conducción de un automotor en carretera. En 2013, el consumo medio de combustible LDV nuevo en la OCDE se estimó en 7. 4 lge / 100 km y

en países no OCDE en 8.4 lge / 100 km. ( GFEI-IEA, 2016). Es evidente que la mejora de la economía de combustible favorece la calidad del aire, y reduce las emisiones de CO<sub>2</sub>. Para ello es necesario implementar vehículos híbridos, eléctricos, mejor eficiencia del motor de combustión interna y embrague, programas de incentivos para el reemplazo vehicular o reducción de impuestos a vehículos eficientes. (Plan Nacional de Energía 2017-2032). Guatemala se unió a la lista de países que ratificó el Acuerdo de París establecido dentro de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (Decreto Número 48-2016 del Congreso de la República). El país en la Contribución Nacional Determinada ha presentado dos tipos de propuestas para lograr la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero respecto a su línea base; la primera es una “Propuesta No Condicionada” en la cual el país planifica lograr una reducción del 11.2% de sus emisiones de GEI totales del año base 2005 proyectado al 2030, con sus propias capacidades. La segunda es la “Propuesta Condicionada” que plantea una reducción más ambiciosa, hasta 22.6% de sus emisiones de GEI totales del año base 2005 proyectado al 2030, cuya condición será determinada al contar con el apoyo técnico y financiero necesario proveniente de recursos internacionales públicos y privados. En ese sentido, es necesario plantear una línea base, para valorar el comportamiento de los ciclos de conducción y las emisiones de CO<sub>2</sub> para vehículos LDV y generar escenarios adaptados a la metodología propuesta por GFEI para contribuir a la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

#### MÉTODO

Este estudio estima un valor de economía de combustible expresado en lge/100 km y emisiones expresadas en g CO<sub>2</sub>/ km para vehículos Light duty vehicles (LDVs), registrados por primera vez en los años: 2005, 2008, 2010 y 2014 en Guatemala. La base de este estudio está integrada por 287,395 vehículos ligeros que corresponden a un 87% del total de unidades ingresadas al país en ese período. Este estudio utiliza la metodología del GFEI como base para la recopilación y estimación de datos. El objetivo general de la metodología es establecer una línea base sobre la economía de combustible promedio ponderado de los automóviles recién matriculados durante al menos un año histórico. Esta información luego es utilizada para generar escenarios que permita incorporar LDVs con tecnologías eficientes en economía de combustible y

Fecha enviada: 2 de diciembre de 2021

Fecha corregida: 20 de diciembre 2021

como consecuencia una reducción en las emisiones de Dióxido de Carbono debido a la quema de gasolina o Diesel. Se utiliza la Herramienta FEPIT (Impacto de las Políticas Económicas del GFEI), para establecer escenarios basados en una tasa anual de mejora global promedio y de una combinación de la implementación de políticas de economía de combustibles basados en:

- Impuestos/incentivos a los combustibles fósiles.
- Impuestos/incentivos en el registro de los vehículos, con base en sus emisiones de CO<sub>2</sub>,

La Herramienta FEPIT debe considerarse un apoyo a las decisiones para implementar políticas orientadas a mejorar la eficiencia energética del sector automotor y encaminadas a conseguir el objetivo de la Iniciativa Global Fuel Economy (GFEI) de 4.2 lge / 100 km en el año 2030.

Para la aplicación de esta metodología es necesario filtrar y ordenar los datos oficiales emanados por la Superintendencia de Administración Tributaria (SAT) sobre LDVs. Los datos se insertan en la herramienta GFEI y se ejecutan los algoritmos de proyección de línea base considerando las características: año alza, modelo de vehículo, línea de vehículo, tipo de vehículo, cantidad, cilindraje y tipo de combustible que emplea el vehículo.

El total de vehículos importados en los años 2005, 2008, 2010 y 2014 de referencia de línea base registrados en SAT, ascienden a 328,951 vehículos. El proceso de depuración permite obtener una muestra significativa del 87% del total de los datos fuente.

La metodología GFEI considera significativa la muestra para valores porcentuales iguales o mayores a 85%.

Año	Cantidad de Vehículos	Marca de vehículos	Población	Porcentaje de población
2005	71,139	69	81232	88%
2008	73,579	52	89519	82%
2010	60,405	61	74384	81%
2014	82,272	63	83816	98%
<b>Total</b>	<b>287,395</b>	<b>N/A</b>	<b>328951</b>	<b>87%</b>

Tabla No.1 Vehículos LDVs registrados en la línea base 2005,2008,2010 Y 2014.

Realizada la base de datos con una línea de vehículos LDVs identificados, se procede a determinar el factor de emisión de Dióxido de

Carbono y ciclo de conducción de acuerdo con las características técnicas de los vehículos. Para ellos se utiliza de referencia la base de datos de vehículos de Estados Unidos, México, Chile y Europa.

Una vez que los datos de economía de combustible estén disponibles para al menos el 85% de los vehículos nuevos registrados, la economía de combustible promedio ponderado se calcula usando la ecuación (E.C.1) prescrita por el GFEI.

$$FE = \frac{\sum_i^n Reg_i \times FE_i}{\sum_i^n Reg_i}$$

E.C. 1 Cálculo de la línea base de economía de combustible

Donde, FE es economía de combustible promedio ponderada, Reg<sub>i</sub> número de nuevos vehículos registrados del tipo i y FE<sub>i</sub> economía de combustible del vehículo de tipo i.

Para homogenizar los ciclos de conducción a la unidad de medida gCO<sub>2</sub>/km, obtenidos de distintas bases de datos, y consumo de combustible en lge/100km, se elige el siguiente procedimiento.

### 1. Cuando la información se encuentra en gCO<sub>2</sub>/km bajo el ciclo NEDC, presente en bases de datos de Chile, Europa y México.

Paso 1: Encontrar el dato de emisión de CO<sub>2</sub> para un vehículo LDVs de marca específica, modelo de vehículo, línea de vehículo, tipo de vehículo, cantidad, cilindraje y tipo de combustible que emplea el vehículo en la base de datos del país.

Paso 2: Calcular el ponderado de emisiones para el vehículo en específico en g CO<sub>2</sub>/km, para ello multiplicar la cantidad de LDVs por el factor de emisión encontrado en el paso 1.

Paso 3: Convertir los valores de emisiones medidos bajo el ciclo NEDC a rendimiento bajo el ciclo CAFE, se procede a utilizar la ecuación E.C.2 del ICCT (International Council for Clean Transportation). Donde DS es sustituido por el tipo de combustible, gasolina 0 y diésel 1.

$$g CO_2(CAFE) = (-0,0975 * DS + 0,8658) * g CO_2(NEDC) + 9,852 * DS + 14,076$$

Estudio de línea de base para la obtención de indicadores de economía de combustible de referencia para la implementación de estrategias de reducción de emisiones en vehículos ligeros LDVs

Fecha enviada: 2 de diciembre de 2021

Fecha corregida: 20 de diciembre 2021

E.C.2 Para convertir del ciclo NEDC ( $gCO_2/km$ ) a rendimiento (mpg) ciclo CAFE

La tabla No.2 ilustra una muestra de 4 tipos de vehículos LDVs, importados al país en el año base 2005 y la conversión respectiva de acuerdo con E.C.2.

Marca	Modelo	Año	Combustible	Factor de emisión ( $g CO_2/km$ ) NEDC	Conversión de NEDC a CAFE ( $gCO_2/km$ )
AUDI	A3	2001	DIESEL	122	117.66
SUZUKI	SAMURAI	2002	GASOLINA	168	159
MITSUBISHI	L200 4X4	2004	DIESEL	195	173.7
TOYOTA	HILUX 4x2	2004	DIESEL	207	182.96
CHEVROLET	CELTA	2005	GASOLINA	144	138.75

Tabla No. 2 Conversión del ciclo NEDC a CAFE para un grupo de LDVs de la línea base del año 2005.

Paso 4: Con el ciclo de emisión en formato CAFE se calcula el valor de economía de combustible en millas por galón (mpg). Para esto primero se calcula el parámetro kilómetro/litro en las unidades LDVs, dividiendo entre una constante por el factor de emisión de ese vehículo. Para la gasolina el valor de la constante es 2336.86; para el diésel es 2684.40. Luego de tener los valores en km/litro es preciso multiplicarlo por el factor 2.35 para obtener los valores mpg.

Marca	Modelo	Año	Combustible	km/litro	Conversión de km/l a mpg
AUDI	A3	2001	DIESEL	22.81	53.61
SUZUKI	SAMURAI	2002	GASOLINA	14.64	34.42
MITSUBISHI	L200 4X4	2004	DIESEL	15.45	36.3
TOYOTA	HILUX 4x2	2004	DIESEL	14.67	34.47
CHEVROLET	CELTA	2005	GASOLINA	16.84	39.57

Tabla No. 3. Modelo de conversión a mpg al ciclo CAFE para una muestra de LDVs del año base 2005.

Paso 5: Para convertir el factor de emisión de  $g CO_2/km$  bajo el ciclo NEDC a lge/100km, se debe multiplicar el factor de emisión del vehículo específico por un factor de conversión que depende del tipo de combustible que utiliza el vehículo. Para los vehículos que funcionan con gasolina el factor de conversión es 0.043; para diésel es 0.037. La tabla No. 4, ilustra una muestra de LDVs, registrados para el año base 2005, con el valor correspondiente de economía de combustible en lge/100km y el rendimiento ponderado en función de la cantidad de vehículos reportados ese año base.

Marca	Modelo	Año	Combustible	Cantidad	Rendimiento (lge/100km)	Rendimiento ponderado (lge/100km)
AUDI	A3	2001	DIESEL	01	4.5	4.5
SUZUKI	SAMURAI	2002	GASOLINA	02	7.2	14.4
MITSUBISHI	L200 4X4	2004	DIESEL	25	7.2	180.4
TOYOTA	HILUX 4x2	2004	DIESEL	01	7.7	7.7
CHEVROLET	CELTA	2005	GASOLINA	127	6.2	786.4

Tabla No. 4 Modelo de conversión a lge/100km para una muestra LDVs importados en el año 2005.

**2. Cuando la información se encuentra en mpg bajo el ciclo CAFE, presente en bases de datos de los Estados Unidos.**

Repetir el procedimiento del paso 1 y 2 de la metodología NEDC a CAFE, trabajando los valores en mpg.

Paso 3: Al tener la información en mpg, se debe determinar el factor de emisión del vehículo LDVs específico. Para calcularlo se divide entre una constante por el rendimiento en mpg. Para la gasolina el valor de la constante es 5484.00; para el diésel es 6299.00.

La tabla No. 4, representa una muestra de LDVs del año base 2005, identificados en la base de datos de Estados Unidos. Para cada grupo de vehículos se determina el factor de emisión en  $g CO_2/km$ .

Marca	Modelo	Año	Combustible	Rendimiento (mpg CAFE)	Factor de emisión ( $gCO_2/km$ ) CAFE
MAZDA	626	2000	GASOLINA	20.5	117.66
DODGE	CARAVAN	2001	GASOLINA	14.8	304.66
HONDA	CIVIC	2002	GASOLINA	24.6	182.8
TOYOTA	ECHO	2003	GASOLINA	25.4	176.9
MITSUBISHI	NATIVA	2004	DIESEL	13.9	370.52

Tabla No. 5. Muestra de LDVs con rendimiento en mpg en CAFÉ y emisiones en  $g CO_2/km$ .

Paso 4: Se debe convertir la emisión de  $CO_2$  bajo el ciclo CAFE al ciclo NEDC. Para esto se necesita un factor de conversión, la E.C.3 del ICCT (International Council for Clean Transportation). Permite realizar la conversión.

$$g CO_2(NEDC) = (0,0884 * DS + 1,1325) * g CO_2(CAFE) - 7,48 * DS - 13,739$$

E.C. 3 Para convertir la emisión de  $CO_2$  bajo el ciclo CAFÉ (mpg) al ciclo NEDC ( $gCO_2/km$ )

Estudio de línea de base para la obtención de indicadores de economía de combustible de referencia para la implementación de estrategias de reducción de emisiones en vehículos ligeros LDVs

Fecha enviada: 2 de diciembre de 2021

Fecha corregida: 20 de diciembre 2021

Se debe considerar que la variable DS: para vehículos gasolina es 0 y para diésel es 1.

Marca	Modelo	Año	Combustible	Factor de emisión (gCO <sub>2</sub> /km) CAFE	Factor de conversión CAFE a NEDC (gCO <sub>2</sub> /km)
MAZDA	626	2000	GASOLINA	117.66	234.68
DODGE	CARAVAN	2001	GASOLINA	304.66	331.30
HONDA	CIVIC	2002	GASOLINA	182.8	193.28
TOYOTA	ECHO	2003	GASOLINA	176.9	186.60
MITSUBISHI	NATIVA	2004	DIESEL	370.52	431.16

Tabla No. 6. Modelo de conversión del ciclo CAFE al ciclo NEDC para homogenizar los datos.

Para convertir el factor de emisión de g CO<sub>2</sub>/km bajo el ciclo NEDC a lge/100km, se debe multiplicar el factor de emisión del vehículo específico por un factor de conversión. Para los vehículos que funcionan con gasolina el factor de conversión es 0.043; para diésel es 0.037. La tabla No. 7, registra una muestra del año 2005, con el rendimiento por grupo y rendimiento ponderado en función de la cantidad de LDVs por grupos específico.

Marca	Modelo	Año	Combustible	Cantidad	Rendimiento (lge/100km)	Rendimiento ponderado (lge/100km)
MAZDA	626	2000	GASOLINA	47	8.3	389.1
DODGE	CARAVAN	2001	GASOLINA	14	11.7	163.6
HONDA	CIVIC	2002	GASOLINA	70	6.8	477.3
TOYOTA	ECHO	2003	GASOLINA	26	6.6	171.2
MITSUBISHI	NATIVA	2004	DIESEL	21	13.1	274.8

Tabla No. 7. Economía de combustible para un grupo de LDVs, importados en 2005.

Para la base de datos de la línea base se calcula el rendimiento armónico específico para cada grupo específico de LDVs, para ello se divide el total de unidades ingresadas en el año base entre el valor de economía de combustible reportado para ese vehículo.

Marca	Modelo	Año	Combustible	Cantidad	Rendimiento armónico bajo el ciclo CAFE
MAZDA	626	2000	GASOLINA	47	2.29
MITSUBISHI	L200 4X4	2004	DIESEL	25	0.688
HONDA	CIVIC	2002	GASOLINA	70	2.84
TOYOTA	ECHO	2003	GASOLINA	26	1.022
MITSUBISHI	NATIVA	2004	DIESEL	21	1.505

La tabla No. 8 Rendimiento armónico para una muestra de LDVs del año 2005.

Con los resultados del promedio ponderado de emisiones (g CO<sub>2</sub>/km bajo el ciclo NEDC) y consumo o rendimiento con una métrica uniforme de economía de combustible expresada en lge/100km, se procede a realizar el cálculo del promedio de emisión anual con E.C.4 y el promedio de consumo anual con E.C.5.

$$= \frac{\text{Promedio de emisión anual}}{\text{Total de ventas en el año}} = \frac{\sum_1^n \text{ventas modelo } i * \text{emisión modelo } i}{\text{Total de ventas en el año}}$$

E.C.4. Ecuación Promedio de emisión anual

$$= \frac{\text{Promedio de consumo anual}}{\text{Total de ventas en el año}} = \frac{\sum_1^n \text{ventas modelo } i * \text{consumo modelo } i}{\text{Total de ventas en el año}}$$

E.C.5. Ecuación consumo anual

Para calcular el rendimiento promedio armónico, se emplea la E.C.6. Este resultado es necesario para elaborar gráficos que muestren la tendencia para los distintos años de los cuales se cuente con información y permita realizar comparaciones con otros países que ya cuentan con este tipo de estudios de economía de combustible.

$$= \frac{\text{Promedio armónico del rendimiento anual}}{\text{Total de ventas en el año}} = \frac{\sum_1^n \text{ventas modelo } i}{\sum_1^n \text{rendimiento de modelo } i}$$

E.C.6. Ecuación Promedio armónico del rendimiento anual

## RESULTADOS

Los resultados de emisiones o rendimientos de los ciclos de conducción en este estudio se ajustaron siguiendo la metodología GFEI. Los valores de referencia de emisiones y rendimientos de los ciclos de conducción para vehículos LDVs se registran en la tabla No. 9.

Año base	Total de vehículos	g CO <sub>2</sub> / km (Ponderado de emisiones por vehículo)	mpg (Rendimiento armónico por vehículo)	lge/100 km (Rendimiento promedio por vehículo)
2005	71,139	212.53	20.08	9.05
2008	73,579	226.77	17.28	9.71
2010	60,405	234.32	18.24	9.96
2014	82,272	205.00	21.20	8.40

Tabla No. 9. Resultado del cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> y rendimientos de los ciclos de conducción.

Una peculiaridad de las unidades vehiculares que ingresan al país es que en la mayoría de los casos no son de modelo reciente, la cantidad de vehículos

Estudio de línea de base para la obtención de indicadores de economía de combustible de referencia para la implementación de estrategias de reducción de emisiones en vehículos ligeros LDVs

Fecha enviada: 2 de diciembre de 2021

Fecha corregida: 20 de diciembre 2021

de segundo uso que ingresa al país siempre es mayor tal como se evidencia en el Gráfico No. 1.

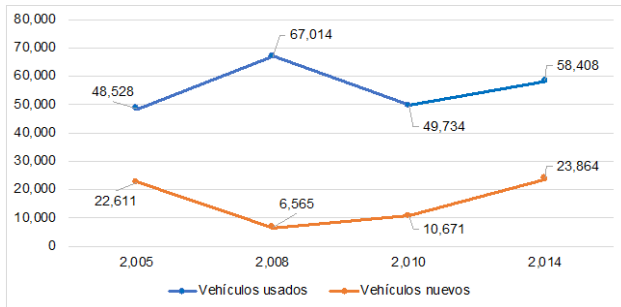


Gráfico No. 1. Vehículos que ingresan a Guatemala, modelos recientes y otros modelos de años anteriores en la línea base.

La economía de combustible promedio de la flota de vehículos ligeros en Guatemala se estimó para el año 2014 en 205 g de CO<sub>2</sub> / km. Entre el 2010 y 2014 se presentó un porcentaje de reducción de las emisiones cercano al 3.54 %.

El Gráfico No. 2 ilustra el comportamiento de las emisiones por vehículo, donde se manifiesta una disminución de las emisiones para el año 2014. Esta baja se debe interpretar como el ingreso de vehículos de modelos recientes con factores de emisión bajos.

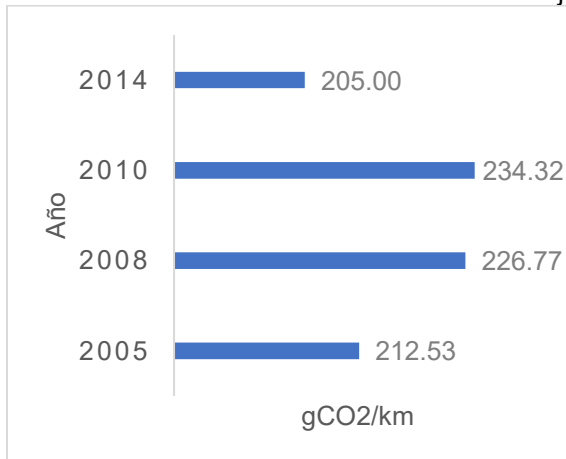


Gráfico No. 2 Comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> en vehículos ligeros en Guatemala. Elaboración propia

En cuanto al consumo de combustible se determina que para el año 2014 el promedio fue de 8.4 lge/100 km y para el 2005 el promedio fue de 9.05 lge/100 km, un porcentaje de reducción de 8% se estima en cuanto a ciclo de conducción en la línea base.

El Gráfico No.1, ilustra el comportamiento de los ciclos de conducción en la línea base. De acuerdo con el objetivo global de GFEI se espera para el año 2030 valores que correspondan a una economía de combustibles entre el intervalo 4.2 – 4.4 de lge/100 km y emisiones en el intervalo 103 - 108 g CO<sub>2</sub>/ km.

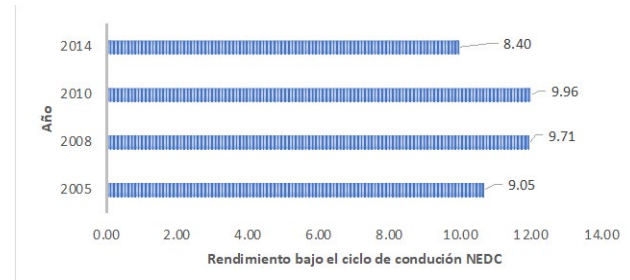


Gráfico No. 2 Consumo promedio de combustible de una unidad vehicular LDV en Guatemala en el ciclo de conducción NEDC.

En resumen la El Gráfico No. 4 ilustra la situación de Guatemala, comparada con otros países. Los resultados reflejan que Guatemala tiene un valor de emisiones alto entre 2005 y 2014, pero que también al igual que la mayoría de los países registrados manifiestan una disminución en sus emisiones en el tiempo.

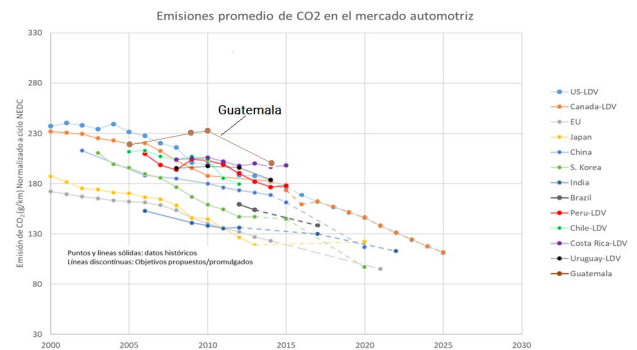


Gráfico No. 4 Situación de Guatemala en cuanto a emisiones de CO<sub>2</sub> en vehículos LDV, ICCT 2015

El Gráfico No. 5 ubica a Guatemala respecto de otros países en cuanto rendimiento promedio expresado en lge/100 km, se ilustra que el país se ubica en la parte superior, pero con tendencia a la disminución por tendencia global de incorporar tecnologías eficientes. En el año 2013 el consumo medio de combustible en países no pertenecientes a la OCDE fue de 7.3 lge/100 km (GFEI-IEA, 2016). Los resultados del año 2014 estimados en 8.4 lge/100 km en Guatemala ubican al país 13% por arriba de este

Estudio de línea de base para la obtención de indicadores de economía de combustible de referencia para la implementación de estrategias de reducción de emisiones en vehículos ligeros LDVs

Fecha enviada: 2 de diciembre de 2021

Fecha corregida: 20 de diciembre 2021

promedio. Mientras que países pertenecientes a la OECD, registran un promedio de 6.7 lge/100 km. (GFEI-IEA, 2016).

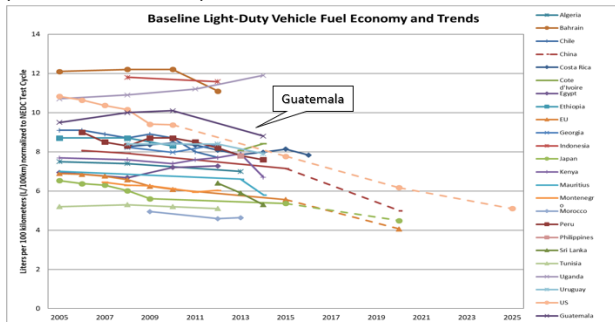


Gráfico No. 5 Consumo en lge/100 km de varios países incluido Guatemala, ICCT 2015

**Proyecciones con la herramienta FEPIT**

Para el ingreso de los datos a la herramienta FEPIT, se seleccionó el año 2014 como el año base de estudio. Para el análisis, se segmentó el parque automotor a través de los siguientes rangos de consumo de combustible:

- I. Menor a 4 lge/100km,
- II. Entre 4 y 6 lge/100km,
- III. Entre 6 y 8 lge/100km,
- IV. Entre 8 y 10 lge/100km,
- V. Mayor a 10 lge/100km

La composición de vehículos en términos de rendimiento de combustible registrados para el año 2014 se presenta en la Tabla No. 10. Los resultados indican que un 49% de los vehículos se encuentran por arriba de los 8 lge/100 km, un 44 % mantienen un régimen de ciclo de conducción de 7.0 lge/100km y que los vehículos con un rendimiento por debajo de 4 lge/100km no son representativos en el año 2014 bajo este estudio.

RANGOS	Número de Vehículos ligeros	Promedio de rendimiento en lge/100 km	Porcentaje equivalente
Menor a 4 (ICE <4 lge/100km)	65	3.5	0.0 %
Entre 4-6 (ICE 4-6 lge/100km)	6021	5.1	7%
Entre 6-8 (ICE 6-8 lge/100km)	36120	7.0	44%
Entre 8-10 (ICE 8-10lge/100km)	24589	9.1	30%
Mayor a 10 (ICE >10 lge/100km)	15477	11.8	19%
<b>Total</b>	<b>82,272</b>	<b>Promedio global: 8.4</b>	<b>100.0%</b>

Tabla No. 10 Consumo de combustible de vehículos livianos medido en lge/100 km en Guatemala 2014. (ICE se traduce como motores de combustión interna).

Las proyecciones FEPIT permiten generar presentan diferentes escenarios de discusión de políticas de eficiencia energética para el sector transporte LDVs. En este estudio se incluirán dos escenarios:

- I. Escenario bajo condiciones circunstanciales
- II. Escenario conveniente – normal

**Escenario bajo condiciones circunstanciales**

El primer escenario está basado en situaciones circunstanciales, es decir que pueden suceder diversas estrategias imprevistas y/o debido a la propia inercia del mercado de vehículos ligeros que impactan en la eficiencia energética del sector transporte LDVs, sin la necesidad del establecimiento de políticas o estrategias locales que promuevan tecnologías eficientes. Los resultados de este escenario, que se considera no apropiado para el país, se muestra en la Gráfico No. 6, con una baja al año 2030 del 27% en economía de combustible.

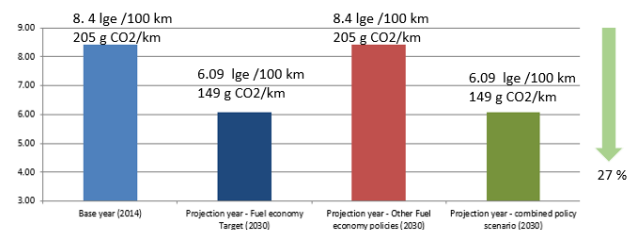


Gráfico No. 6 Proyecciones de economía de combustibles al año 2030 – escenario bajo condiciones circunstanciales

La primera barra de izquierda a derecha presenta una economía de combustible del parque automotor para el año base (2014) de 8.4 lge/100 km y emisiones equivalentes a 205 g CO<sub>2</sub>/ km, debido a la inexistencia de políticas de ahorro de combustible que favorezcan el rendimiento, se observa que la tercera barra que es la proyección al 2030, permanece con los mismos valores: 8.4 lge/100 km y 205 g CO<sub>2</sub>/ km.

La segunda barra refleja para el 2030, cambios de acuerdo con la propia inercia del sector transporte LDVs. Para este escenario se considera una reducción del 2% anual en la economía de combustible, este porcentaje de reducción se obtiene a partir del registro histórico calculado entre 2005 y 2013 por la herramienta FEPIT con un promedio anual de -1.6%. Para este estudio y contexto de país se aproxima esta reducción condicionada a un valor de - 2% anual y la proyección de la herramienta FEPIT determina para el 2030 una economía de

Estudio de línea de base para la obtención de indicadores de economía de combustible de referencia para la implementación de estrategias de reducción de emisiones en vehículos ligeros LDVs

Fecha enviada: 2 de diciembre de 2021

Fecha corregida: 20 de diciembre 2021

combustible equivalente a 6.09 lge/100 km con emisiones de 149 g CO<sub>2</sub>/km.

La segunda y cuarta barra permanecen con los mismos valores, dado que en este escenario no existen políticas combinadas que promuevan tecnologías híbridas, biocombustibles, movilidad eléctrica o motores de combustión interna eficientes en automotores LDVs.

Este escenario no es un modelo apropiado para el país, dado que no cumple con la meta de la Iniciativa Global Fuel Economy (GFEI) de lograr 4.2 lge / 100 km, para el año 2030. Sin embargo, debido a que no existen políticas específicas en correspondencia con la eficiencia energética del sector transporte puede resultar en un escenario posible.

**Escenario conveniente – normal**

El segundo escenario fue necesario alinearlo con la meta global del programa GFEI el cual propone una tasa anual de mejora global promedio de - 3.1% hasta el 2030. Para este escenario se ha considerado la implementación de una política al registro vehicular basado en el CO<sub>2</sub> como:

- Establecer impuestos/incentivos a los vehículos en su etapa de registro basado en sus emisiones de CO<sub>2</sub> y rendimiento expresado en lge/100 km
- Generar incentivos para aquellos vehículos cuyas emisiones sean bajas o nulas.

A través de esta implementación se fomenta la adquisición de vehículos más eficientes.

El impuesto de matriculación pretende ser una tarifa pagada una sola vez cuando el vehículo entra en un mercado por primera vez ya sea como vehículo nuevo o importación de segunda mano.

Tax level by segment	Impuesto recomendado (Dólares)
Battery electric	0
Hybrid Plug – in electric	0
Hybrid electric	0
Menor a 4 (ICE <4 lge/100km)	0
Entre 4-6 (ICE 4-6 lge/100km)	200
Entre 6-8 (ICE 6-8 lge/100km)	400
Entre 8-10 (ICE 8-10lge/100km)	600
Mayor a 10 (ICE >10 lge/100km)	800

Tabla No. 11 Impuesto al registro de vehículos a base de CO<sub>2</sub>.

Las tasas establecidas en la tabla No. 11 indican que un vehículo con tecnología eléctrica en sus diferentes versiones debe estar exonerado de estos pagos. Dada la dificultad de medir los niveles de emisión de CO<sub>2</sub> por vehículo, se prefiere en la metodología FEPIT establecer el criterio de valorar estas emisiones en función del rendimiento expresado en lge/100km, bajo este criterio esto significa que un bajo rendimiento causa mayor emisión de g de CO<sub>2</sub> por vehículo

El gráfico No. 7 ilustra las proyecciones obtenidas bajo este escenario, donde se evidencia una baja del 43% al año 2030 en economía de combustible.

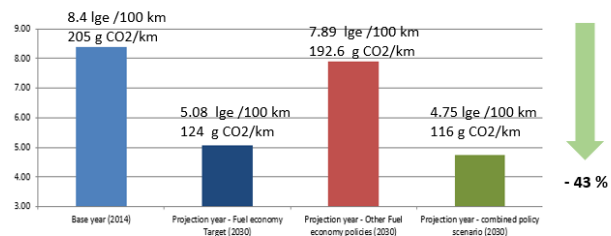


Gráfico No. 7 Proyecciones de economía de combustibles al año 2030 – escenario moderado-

Los resultados evidencian que para el año base (2014) el rendimiento sigue siendo de 8.4 lge/100 km y que las emisiones equivalentes son de 205 g CO<sub>2</sub>/ km, la segunda barra representa la proyección de la implementación de un objetivo anual de reducción del consumo de combustible alineado con las metas del programa GFEI el cual propone, como se dijo con anterioridad, una reducción anual del consumo de combustible de - 3.1%. A partir de esta condición se espera lograr una economía de combustible de 5.08



Fecha enviada: 2 de diciembre de 2021

Fecha corregida: 20 de diciembre 2021

lge/100 km con emisiones equivalentes a 123.9 g CO<sub>2</sub>/ km al 2030. La tercera barra establece un valor de 7.89 lge/100 km y 192.6 g CO<sub>2</sub>/ km para el año proyectado partir de la aplicación del Impuesto al registro de vehículos a base de CO<sub>2</sub> y además se mantenga un comportamiento endógeno del sector transporte. La cuarta barra representa la proyección de la economía de combustible al analizar un escenario combinado entre la implementación de una meta de reducción del consumo de combustible en el parque automotor (barra 2) y la política impuesta al registro de vehículos a base de CO<sub>2</sub> (barra 3), los resultados evidencian una eficiencia en el rendimiento, con un valor al 2030 de: 4.75 lge/100km y emisiones de 116. 2 g CO<sub>2</sub>/ km para el 2030, con una reducción total de 43%.

Dadas las condiciones del país este puede ser un escenario que puede adoptarse para su implementación en Guatemala.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados del presente estudio establecen el comportamiento histórico de los rendimientos de los ciclos de conducción y las emisiones de CO<sub>2</sub> para los vehículos que se registran por primera vez en los años 2005, 2008, 2010 y 2014 en Guatemala, en total la línea base está integrada por 287,395 vehículos ligeros que corresponden a un 87% del total de unidades ingresadas al país en ese período. Este conjunto de vehículos incluye automóviles nuevos y automóviles importados usados. Para expresar los resultados finales la metodología GFEI emplea 2 modelos de ciclos de conducción con las siguientes unidades de medida correspondientes:

- NEDC. (New European Driving Cycle que expresa los rendimientos lge/100 km.
- U.S. CAFÉ que expresa los rendimientos en millas por galón (mpg).

Para establecer las emisiones ambos ciclos: (NEDC) y U.S. CAFE se empleó como unidad de medida: gCO<sub>2</sub>/km.

Los datos obtenidos manifiestan un aumento escalonado de las emisiones en el 2005 de 212.53 g CO<sub>2</sub>/ km ,2008 de 226.77 g CO<sub>2</sub>/ km y en 2010 de 234.32 g CO<sub>2</sub>/ km. Sin embargo, en el 2014, año en el que se registran la mayor cantidad de vehículos comparado con los otros años, se observa una baja

en las emisiones por vehículo, el valor registrado es de 205.00 g CO<sub>2</sub>/ km, esta baja se debe al ingreso al parque vehicular de Guatemala, vehículos de modelos recientes con factores de emisión bajos.

En el año 2013 el consumo medio de combustible en países no pertenecientes a la OCDE fue de 7.3 lge/100 km, es evidente que para el año 2014 Guatemala está por arriba de este valor de referencia.

Una peculiaridad de las unidades vehiculares que ingresan al país es que en la mayoría de los casos no son de modelo reciente, la cantidad de vehículos de segundo uso que ingresa al país siempre es mayor tal como se evidencia en el Gráfico No. 1. Sin embargo, se observa que, en el año 2014, hay un aumento de las unidades de modelo reciente, esto mejora las condiciones de rendimiento. El Gráfico No. 4 ubica a Guatemala respecto de otros países en cuanto rendimiento promedio expresado en lge/100 km, se ilustra que el país se ubica en la parte superior de la gráfica junto a Bahrain, Indonesia y Uganda con valores similares de rendimiento de combustible, sin embargo, hay una tendencia hacia reducir los valores de rendimiento en todos los países.

La implementación de la herramienta Fuel Economy Policies Implementación Tool – FEPIT, estableció dos escenarios posibles para reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y mejora en los ciclos de conducción en vehículos ligeros. El primer escenario basado en situaciones circunstanciales considera una mejora promedio de -2% anual, que pueden suceder por diversas estrategias imprevistas y/o debido a la propia dinámica del mercado. El escenario indica que puede ocurrir rendimientos hasta el orden de 6.09 lge/100 km con emisiones equivalentes a 149 g CO<sub>2</sub>/ km. Sí en dado caso se sigue la misma tendencia de la línea base, sin considerar una reducción porcentual, entonces se obtienen métricas de 7.71 lge/100 km y emisiones de 188.2 g CO<sub>2</sub>/ km, con una reducción del 8.4% al 2030, situación no viable para lograr los compromisos adquirido a nivel de país para reducir los gases de efecto invernadero. Un segundo escenario, conveniente y normal, considera una reducción de - 3.1% anual, que corresponde a la tasa media de la mejoría global GFEI, en el caso de implementar políticas de eficiencia en el sector transporte LDVs, evidencian un aumento en el rendimiento, con un valor al 2030 de: 4.75 lge/100km y emisiones de 116. 2 g CO<sub>2</sub>/ km para el 2030, esto representa una reducción total de 43%, este puede ser un escenario que es viable alcanzar en Guatemala.

Fecha enviada: 2 de diciembre de 2021

Fecha corregida: 20 de diciembre 2021

## RECOMENDACIONES O ESTRATEGIAS

- Considerando los antecedentes presentados, es necesario implementar una estrategia nacional basada en una reducción anual de -3.1% a 2030 e implementar un sistema de impuestos e incentivos basados en las emisiones de CO<sub>2</sub> del vehículo importado al país para lograr migrar de forma escalonada hacia un transporte ligero con tecnología eficiente.

- Se define un escenario conveniente donde las proyecciones determinan valores de economía de combustibles al 2030 de 4.75 lge/100 km y 116 g de CO<sub>2</sub>/km. Para lograr este avance significativo se deben plantear políticas que favorezcan el uso de tecnologías híbridas, biocombustibles, motores de combustión interna eficientes y electromovilidad. Aunado a ello es necesario implementar una base de datos nacional para homologar vehículos nuevos con información de economía de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub> que permita evaluar la evolución de la línea base y tomar decisiones estratégicas de eficiencia en base a datos objetivos y sistemáticos. Una vez que se establezca una base de datos nacional con información técnica y rendimiento de los vehículos importados, se debe precisar la factibilidad de establecer un sistema de feebate (bono-penalización) para fomentar la adopción de vehículos más eficientes y considerar impuestos e incentivos basados en las emisiones de CO<sub>2</sub>, cuando un vehículo ingresa al país por primera vez y generar tasas a la circulación vehicular basadas en economía de combustible. Esto debe derivar en una normativa tributaria que promueva el uso de vehículos más eficientes y a la vez con menores emisiones

- Además es necesario fortalecer las capacidades del Estado para homologar vehículos nuevos, definir una normativa de la autoridad competente para obtener las especificaciones técnicas de los importadores, vendedores y fabricantes de vehículos; establecer edad máxima en forma definitiva el ingreso de vehículos de segunda mano al mercado nacional, promover los vehículos eléctricos como una opción para reducir el consumo energético y la emisión de gases de efecto invernadero y otros contaminantes, adoptar una política de etiquetado de vehículos que brinde información al usuario sobre el rendimiento y las emisiones de CO<sub>2</sub> previo a realizar una compra y la vez que incluya o se garanticen bonos o incentivos por vehículos eficientes.

- Es necesario implementar regulaciones concernientes a los vehículos nuevos y usados que

ingresen al país, que incorporen una mirada más integral, con estándares de emisiones y eficiencia energética.

## CONCLUSIÓN

Los resultados de economía de combustible en lge/100km presentan un aumento del consumo: 9.05 lge/100km para el año 2005, 9.71 lge/100km para el año 2008, 9.96 lge/100km y 8.40 lge/100km para el año 2014 con el dato de mayor eficiencia vehicular de la línea base. Los datos obtenidos permiten demostrar que, aunque en el año 2010 la cantidad de vehículos ingresados al país es menor respecto a los otros años de estudio (60,405 unidades), se manifiesta la menor eficiencia en cuanto a rendimiento.

Se determina el año 2010 como el que presenta las mayores emisiones por vehículo (comparado con los otros años), el de más bajo rendimiento: 9.96 litros de gasolina equivalente para recorrer 100 km. Algunas metodologías sobre el cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> establecen como criterio que a mayor cantidad de vehículos mayor cantidad de emisiones, bajo el criterio de la metodología del GFEI donde se agrupan modelos y líneas con especificaciones técnicas diferentes, se considera que no es la cantidad de vehículos lo que determinan las emisiones sino sus propiedades específicas realizadas por el fabricante. De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que el país puede alcanzar valores alrededor de 4.75 lge/100km y emisiones de 116. 2 g CO<sub>2</sub>/ km para el 2030

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Caselli Maurizio. (2000). La contaminación atmosférica. 6ª edición. Año: 2000. México.
- Cuenot, F. (2013). Transport Pathways for Light Duty Vehicles: Towards a 2° Scenario. Institute of Transportation Studies, University of California Davis. USA.
- Davies, W. (-----). Capítulo 3. Combustión Móvil. Directrices Del IPCC de 2006 Para Los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero
- Fulton, L. (2012). Fuel economy policies could spare Commonwealth governments from

Fecha enviada: 2 de diciembre de 2021

Fecha corregida: 20 de diciembre 2021

- an impending transport fuels disaster. Commonwealth Advisory Bureau. GFEI. Londres.
- Steinvorth, A., & Castillo, M. (s.f). *Guía paso a paso para desarrollar el estudio de línea base*. [Versión digital].
- Combustibles y vehículos alternativos. IDAE. Proyecto TREATISE de la Comisión Europea. (2005). [Versión Digital].
- Herramientas de economía de combustible para implementación de políticas – FEPIT- (Fuel Economy Policies Implementation Tool). *GFEI*. IEA 2015. Francia. [version digital].
- IEA-INTERNATIONAL ENERGY Agency, “CO2 emissions from fuel combustion - Highlights,” 2016. [Versión Digital].
- Ley marco para regular la reducción de la vulnerabilidad, la adaptación obligatoria ante los efectos del cambio climático y la mitigación de gases de efecto invernadero. Decreto 7 – 2013. Congreso de la República de Guatemala.
- Plan Nacional de Energía 2017 – 2032. Ministerio de Energía y Minas. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Secretaria General de Planificación y Programación de Presidencia. (s.f). Guatemala. [Versión digital].
- Plan de acción nacional de Cambio Climático. (2016). Consejo nacional de cambio climático. Segeplan. Guatemala. [Versión Digital]
- Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente. (PNUMA). Beneficios del uso de combustibles más limpios en Costa Rica. (2015) Santiago de Chile. [Versión Digital].
- \_\_\_\_ MARN. (2015). Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático Guatemala.