

Emisiones de CO₂ en exceso por consumo de combustible en vehículos ligeros

MBA. Fernando Pérez Márquez
M.I. Azucena del Rosario Fraire Vázquez
Tecnológico Nacional de México/ITS de Comalcalco
Subdirección de Posgrado e Investigación
M.G.A. Raúl Enrique Islas Jesús
Tecnológico Nacional de México/ITS de Comalcalco
Subdirección de Posgrado e Investigación
M.S.I.G. Maritza Peralta Fuentes
SURPETROL
Higiene, Seguridad, Ambiente y Calidad

Resumen

El uso de vehículos automotores ofrece beneficios a la sociedad en términos económicos y de movilidad, pero las emisiones producidas a partir de la quema de sus combustibles representan hoy en día un problema global derivado de los gases de efecto invernadero. Dentro de los gases que son de mayor preocupación ambiental se encuentra el dióxido de carbono (CO_2). En el presente trabajo se calcularon las emisiones de dióxido de carbono en exceso que se generan por vehículos ligeros al circular bajo condiciones mecánicas y hábitos de conducción diferentes a los recomendados por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. Se consideró un método cuantitativo, con un diseño descriptivo de tipo no experimental, con muestreo no probabilístico y recolección de datos de forma transversal. Se utilizaron factores de emisión y bases de cálculo mencionadas en el Portal Eco-vehículos. Se logró la recolección de datos de 169 conductores con vehículos de diferentes marcas y su validación conforme a la información propuesta por el Portal antes mencionado. Se procesaron los datos con el software Excel®. Se cuantificaron el total de emisiones y sus respectivos indicadores. El estudio se vio limitado por la información técnica disponible sobre rendimientos de combustible de vehículos de modelos previos al año 2008, por lo que se ajustó la muestra a los modelos disponibles. La investigación genera valor al proporcionar y aplicar una metodología particular para cuantificar las emisiones tanto en parques vehiculares pequeños como de forma masiva. Se determinó que cada vehículo emite en exceso 468.17 kilogramos de dióxido de carbono por cada 15000 kilómetros, lo que equivale a 200.79 litros de gasolina.

Afinación deficiente es la causa más frecuente para condiciones mecánicas y el tiempo de calentamiento en vacío para hábitos de conducción, con 72.2 % y 87 % de los casos, respectivamente.

Palabras clave: Consumo de combustible, conducción ecológica, emisiones de dióxido de carbono, factor de emisión.

Abstract

The use of motor vehicles offers benefits to society in economic and mobility terms, but the emissions produced from the burning of their fuels represent today a global problem derived from greenhouse gases. Carbon dioxide (CO_2) is among the gases that are of greatest concern in terms of the environment. In this work, the excess carbon dioxide emissions produced by light vehicles when circulating in mechanical conditions and driving habits different from those recommended by Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía were calculated. A quantitative method with a non-experimental descriptive design, non-probabilistic sampling and cross-sectional data collection was considered. Emission factors and calculation bases from the Portal Eco-vehículos were used. The data collection of 169 drivers with vehicles of different brands was achieved, which were verified according to the information of the aforementioned Portal. The data was processed with Excel® software. Total emissions and their respective indicators were quantified. The study was limited by available technical information about fuel efficiency of pre-2008 model year vehicles, so the sample was adjusted for available models. Research creates value by providing and applying a specific methodology for quantification emissions in both small

and massive vehicle fleets. It was determined that each vehicle emits an excess of 468.17 kilograms of carbon dioxide per 15000 km, which is equivalent to 200.79 liters of gasoline. Poor tuning is the most frequent cause for mechanical conditions, while the vehicle's idling warm-up time for driving habits, with values of 72.2 % and 87 % of cases, respectively.

Keywords: Fuel consumption, ecological driving, carbon dioxide emissions, emission factor.

Introducción

El dióxido de carbono (CO₂) es uno de los contaminantes más frecuentes dentro de los miles de millones de contaminantes generados cada año, entre otras cosas, por actividades industriales, uso de calefacciones y aumento de uso de vehículos (Sánchez Ruiz & Solís Fraile, 2020). El CO₂ presente en la atmósfera se incrementa cada vez más con el paso del tiempo. La concentración de este gas era de 280 ppm antes de la Revolución Industrial, mientras que para 2018 era de 407.8 ppm y en 2021 alcanzó las 415 ppm (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2021).

Los vehículos automotores son empleados para el desarrollo de las actividades tanto cotidianas como industriales, incrementando así el nivel de contaminación en la atmósfera y afectando a la población mundial. La combustión que se lleva a cabo en los vehículos genera diferentes contaminantes, dentro de ellos el vapor de agua y el dióxido de carbono, en mayor medida. A pesar de que los contaminantes antes mencionados no son residuos tóxicos, el dióxido de carbono emitido en grandes cantidades a la atmósfera provo-

ca el efecto invernadero, lo cual ha propiciado el incremento en las normativas para regular las cantidades de este gas que fomentan la adopción de tecnologías que incluyen fuentes de energía menos contaminantes. Para los próximos años se espera una implantación progresiva de dichas tecnologías en los automóviles (Barrera Doblado & Ros Marín, 2017).

El término ecodriving describe los comportamientos durante la conducción que permiten incrementar la eficiencia energética de los vehículos. Así, el comportamiento del conductor tiene como consecuencia un impacto positivo clave para alcanzar la sustentabilidad (Stanton, Landry, Di Bucchianico, & Vallicelli, 2017). La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) menciona una serie de recomendaciones que contribuyen al ahorro de combustible y, por consiguiente, la disminución en las emisiones a la atmósfera; dentro de ellas: evitar calentar el motor cuando el vehículo no está en movimiento; realizar aceleraciones graduales, evitando pisar el acelerador a fondo; anticiparse a situaciones de frenado y aceleración; cambiar a velocidad superior siempre que el sistema motriz lo permita (en transmisión manual); mantener una actitud positiva ante el volante, sin apresurarse y teniendo una conducción suave y segura; usar ventanillas cerradas al conducir en carretera, siempre que sea posible; registrar gastos de combustible para controlar consumos e identificar anomalías; y dar un buen mantenimiento al vehículo, evitando la combustión incompleta (CONUEE, 2015a).

Las instituciones educativas y los medios de comunicación orientan a la sociedad que

el uso de vehículos automotores provoca contaminación al ambiente; sin embargo, no todos conocen claramente la cantidad de emisiones (y de qué tipos) se generan por el uso de dichos vehículos. La CONUEE muestra información relacionada a las cantidades y tipos de emisiones que los vehículos automotores generan a la atmósfera e incluye recomendaciones a los automovilistas para que disminuyan el uso innecesario de combustibles, lo que se traduce en una mejora económica para ellos y en una disminución de emisiones a la atmósfera.

La cantidad de emisiones de dióxido de carbono que genera cada vehículo en circulación puede ser muy distinta de un usuario a otro, y de un lugar a otro, pero es importante identificar, más allá de lo convencionalmente mostrado por la CONUEE, las cantidades de emisiones que se pueden producir a causa de inadecuados hábitos de conducción y condiciones mecánicas de los vehículos.

Existen numerosos factores que ayudan a la reducción de emisiones de los vehículos automotores y que están directamente relacionados con el consumo de combustible. Diversos autores han escrito acerca de la importancia de mantener las llantas en una presión adecuada ya que pueden contribuir positivamente al incremento en el rendimiento de combustible de los vehículos. Dentro de las medidas a considerar para reducir el consumo de combustible, se encuentran el diseño aerodinámico del vehículo, las llantas con menor resistencia al rodamiento, mantener el nivel de presión de las llantas en condiciones óptimas y mejoras en los termostatos del sistema de aire acondicionado (Dammert Lira & García C., 2020).

La CONUEE publica de forma regular los rendimientos de combustible de cada una de las marcas y modelos de vehículos automotores. Por ejemplo, a través de la página oficial del Gobierno de México muestra los catálogos de rendimiento de combustible en vehículos ligeros de venta en México para modelos desde 2010 a 2021. Además, dentro de los catálogos menciona recomendaciones para ahorrar combustible en el automóvil e indica las cantidades de emisiones de dióxido de carbono de acuerdo con la marca y modelo del vehículo en g/km (CONUEE, 2015b). La misma institución ha publicado también información de cómo ahorrar combustible, proporcionando videos, folletines, recomendaciones y guías, dentro de los que tiene gran importancia la denominada Guía del automovilista eficiente (CONUEE, 2015a).

Se realizó una publicación acerca de un caso de regulación de emisiones de dióxido de carbono y su equivalencia en rendimientos de combustible para vehículos ligeros nuevos en México, en la cual se concluye que la ciudadanía en general no es muy consciente de la problemática, pero que a pesar de ello resulta beneficiada a partir de normas como la NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013 (Emisiones de bióxido de carbono [CO₂] provenientes del escape y su equivalencia en términos de rendimiento de combustible, aplicable a vehículos automotores nuevos de peso bruto vehicular de hasta 3,857 kilogramos) al fomentar el incremento del rendimiento del vehículo y la reducción las emisiones (Elizondo Cordeiro & Hernández Amezcua, 2018).

En un estudio realizado en la ciudad de Quito-Ecuador se comparó la conducción eficiente con respecto a la conducción nor-

mal con la finalidad de evaluar las emisiones contaminantes y la economía de combustible en un vehículo con cilindraje de 1498cm³ a 2810 metros sobre el nivel del mar, concluyendo que mediante la conducción ecológica se logra una mejora en la eficiencia de autonomía de un vehículo con beneficios energéticos, ambientales y económicos (Leguísamo, Llanes Cedeño, Celi Ortega, & Rocha Hoyos, 2020).

La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), la Secretaría de Energía (SENER), la CONUEE, la Secretaría de Economía (SE) y la Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO), presentaron el Portal de Indicadores de Eficiencia Energética y Emisiones Vehiculares (Portal Eco-Vehículos), en el que se muestra información sobre emisiones, rendimiento y gasto anual relacionado a vehículos ligeros nuevos y semi-nuevos, así proveen información útil a la sociedad para la toma de decisiones sobre economía y medio ambiente. Dentro de la plataforma se incluye: rendimiento de combustible del vehículo; emisiones de dióxido de carbono (CO₂); emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x); gasto anual estimado de consumo de combustible; comparaciones entre vehículos; y ligas de interés, sitios de referencia, glosario y respuestas a preguntas frecuentes (Portal Eco-vehículos, s.f.).

Esta investigación se realizó bajo el método cuantitativo, con un diseño descriptivo de tipo no experimental, aplicando un muestro no probabilístico y recolección de datos de forma transversal. Así, se buscó determinar la cantidad de emisiones de CO₂ en exceso que se generan por vehículos ligeros al circular bajo condiciones mecánicas y hábitos

de conducción diferentes a los recomendados por la CONUEE, para la determinación de los respectivos índices de contaminación.

Desarrollo

La estimación de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) se realizó mediante el empleo de factores de emisión y bases de cálculo ya definidos (Portal Eco-vehículos, s.f.); para ello, se desarrollaron los pasos que a continuación se describen:

Paso 1.- Definición de variables

Se definieron las variables a estimar con base en la recolección de datos de primera mano (encuesta), teniendo en cuenta que todas ellas son de tipo cuantitativas, debido al enfoque de la investigación. Dichas variables se definen en la tabla 1.

Paso 2.- Diseño del cuestionario.

Se diseñó un cuestionario en el cual se consideró la recolección de datos técnicos de vehículos ligeros, dentro de los que sobresalen: marca, submarca, año modelo, cantidad de puertas, número de cilindros, tamaño de motor (en L), potencia (en HP), transmisión y de combustible. Además, se incluyeron preguntas específicas que permitieron obtener información acerca de las condiciones mecánicas de los vehículos y hábitos de conducción bajo los cuales son operados. Como parte de la validez y confiabilidad de la información se solicitaron datos técnicos de los vehículos a los encuestados y así se garantizó la correcta identificación del rendimiento de combustible de cada uno de ellos, conforme a los valores publicados (Portal Eco-vehículos, s.f.). Los cuestionarios aplicados en los cuales se proporcionaron datos insuficientes que impidieron la identificación objetiva del rendimiento de combustible de cada unidad móvil fueron descartados.

Variable	Definición	Indicador relacionado
Litros por tiempo calentamiento en vacío	Cantidad de litros de combustible consumidos en el tiempo que tarda en funcionamiento un vehículo sin moverse de un estacionamiento	Emisiones de CO ₂ de por calentamiento en vacío por vehículo
Litros por carga adicional en cajuela	Cantidad de litros de combustible consumidos por la carga adicional que se lleva en el vehículo fuera de sus componentes y estructura funcional original	Emisiones de CO ₂ por carga adicional en cajuela por vehículo
Litros por afinación	Cantidad de litros de combustible consumidos por la falta de mantenimiento del vehículo, considerando afinación mayor deficiente	Emisiones de CO ₂ por afinación deficiente por vehículo
Litros por presión incorrecta de llantas	Cantidad de litros de combustible consumidos por la falta de calibración de las llantas del vehículo	Emisiones de CO ₂ por presión incorrecta de las llantas por vehículo
Litros por velocidad excesiva en carretera	Cantidad de litros de combustible consumidos por viajar a más de 90 km/h en carretera.	Emisiones de CO ₂ por velocidades altas en carretera
Litros por intensidad inmoderada de aire acondicionado	Cantidad de litros de combustible consumidos por emplear el aire acondicionado con una intensidad inmoderada	Emisiones de CO ₂ por uso inmoderado de aire acondicionado

Nota. Esta tabla muestra la definición de las seis variables empleadas en la investigación, al igual que los indicadores relacionados a dichas variables.

Tabla 1. Definición de variables empleadas en la investigación

Paso 3.- Aplicación de la encuesta.

Se aplicaron los cuestionarios a conductores de vehículos ligeros que transitaban en los municipios de Cárdenas, Centro, Comalcalco, Cunduacán y Paraíso, en el estado de Tabasco. Posteriormente, se describieron los resultados obtenidos conforme a los lugares de muestreo, participación por edad y sexo de los encuestados, marcas, submarcas, año, cilindraje, transmisión, tamaño de motor y potencia de los vehículos.

Paso 4.- Validación de datos, registro y cálculo de variables.

Se realizó el cotejo correspondiente para verificar que las unidades registradas cumplieran con los requerimientos necesarios para la obtención de datos técnicos disponibles (Portal Eco-vehículos, s.f.). Se efectuó la consulta de los rendimientos de combustible para cada uno de los vehículos para después registrarlos y procesarlos con ayuda del Software Microsoft

Variable	Fórmula
Litros por tiempo de calentamiento en vacío	$(\text{Minutos de calentamiento al día}) * (365 \text{ días}) * (0.01)$ <p>Se considera que los vehículos se emplean los 365 días del año. El 0.01 se debe a que el automóvil consume 100 mL por cada 10 minutos funcionando en vacío; es decir, 10 mL (1/100 de L) por cada minuto (CONUEE, 2015a).</p>
Litros por carga adicional en cajuela	$\left(\text{Trunc} \left(\frac{\text{kg adicionales}}{50} \right) \right) * (\text{L de combustible por cada 15000 km}) * (0.02)$ <p>Si la cantidad de kilogramos es < 50, el resultado 0. El resultado del cociente de cantidad de kilogramos adicionales con 50 se trunca, por ello el texto “Trunc”. El 0.02 se debe a que por cada 50 kg extras se incrementa en un 2 % el consumo de combustible (CONUEE, 2015a).</p>
Litros por afinación deficiente	$(\text{L de combustible por cada 15000 km}) * (\text{Meses sin afinación}) * \frac{0.3}{12}$ <p>El 0.3 se debe a que se consume hasta 30 % más de combustible al presentar afinación deficiente (CONUEE, 2015a).</p>
Litros por presión incorrecta de llantas	$(\text{L de combustible por cada 15000 km}) * (0.05) * \frac{\text{meses de calibración} - 1}{\text{meses de calibración}}$ <p>El 0.05 se debe a que una presión incorrecta de las llantas incrementa el consumo de combustible en un 5 % (CONUEE, 2015a).</p>
Litros por velocidad excesiva en carretera	$(\text{L de combustible por cada 15000 km}) * 0.45 * 0.2$ <p>Aplica para vehículos que viajan a más de 90 km/h en carretera. El 0.45 tiene lugar considerando que el movimiento de un vehículo es 45 % en carretera (Portal Eco-vehículos, s.f.). El 0.2 se refiere a que viajar a más de 90 km/h, por ejemplo, a 110 km/h, se consume alrededor de 20 % más de combustible (CONUEE, 2015a).</p>
Litros por intensidad inmoderada de aire acondicionado	$(\text{L de combustible por cada 15000 km}) * 0.1$ <p>En intensidad del 1 al 6, considera “inmoderada” para valores mayores que 3. El valor de 0.1 se debe a que usar inmoderadamente el aire acondicionado consume 10 % más de combustible (CONUEE, 2015a).</p>

Nota. La tabla menciona las fórmulas para el cálculo de las variables empleadas en la investigación. Asimismo, describe puntualmente el origen de cada uno de los valores que se utilizan en cada una de ellas.

Tabla 2. Fórmulas empleadas para el cálculo de variables de exceso de consumo de combustible

Excel®. Se calculó la cantidad de litros de combustible consumidos en un año (se utilizó como base de cálculo 15,000 km) considerando las condiciones mecánicas y hábitos de conducción recomendados, y se empleó la fórmula:

$$\text{Litros de combustible} = \frac{15,000 \text{ km}}{\text{Rendimiento de combustible en } \frac{\text{km}}{\text{L}}}$$

El rendimiento de combustible utilizado en los cálculos de cada vehículo fue el ajustado (Portal Eco-vehículos, s.f.). Para determinar el valor (en L) de cada una de las

variables requeridas asociadas a la cantidad de exceso de consumo de combustible, se emplearon las fórmulas mostradas en la tabla 2.

Paso 5. Determinación de emisiones de CO₂.

Para determinar la cantidad de CO₂ en exceso, primero se estimó el total de litros consumidos en exceso (por vehículo) mediante la sumatoria de los resultados de las variables mencionadas en la tabla 2, para cada vehículo. Después, el resultado (en L) de cada vehículo, se multiplicó por el factor de emisión de gasolina equivalente a 2331.65 gCO₂/L (Portal Eco-vehículos, s.f.) y se dividió entre 1000 (g), para obtener los kgCO₂ emitidos por cada vehículo. Se realizó la sumatoria de los kgCO₂ de

todos los vehículos para obtener el resultado global. Posteriormente, para calcular el total de kgCO₂ emitidos en cada variable, se realizó la sumatoria de los valores (en L) obtenidos para cada vehículo (por variable), se multiplicó por el factor antes mencionado y se dividió con 1000 (g). El resultado de la sumatoria de las emisiones de kgCO₂ por vehículo es equivalente al resultado de la sumatoria de las emisiones de kgCO₂ por variable.

Paso 6. Estadística descriptiva.

Se realizó un análisis de los resultados obtenidos en kgCO₂ para cada variable y por cada vehículo, logrando así determinar la cantidad de CO₂ que se genera anualmente, según las variables estudiadas, así como sus respectivos porcentajes.

Indicador	Fórmula
Emisiones de CO ₂ por calentamiento en vacío por vehículo	$\frac{kgCO_2 \text{ total por calentamiento en vacío de la muestra}}{\text{Tamaño de la muestra}}$
Emisiones de CO ₂ por carga adicional en cajuela por vehículo	$\frac{kgCO_2 \text{ total por carga adicional en cajuela de la muestra}}{\text{Tamaño de la muestra}}$
Emisiones de CO ₂ por afinación deficiente por vehículo	$\frac{kgCO_2 \text{ total por falta de afinación de la muestra}}{\text{Tamaño de la muestra}}$
Emisiones de CO ₂ por presión incorrecta de las llantas por vehículo	$\frac{kgCO_2 \text{ total por falta de calibración en llantas}}{\text{Tamaño de la muestra}}$
Emisiones de CO ₂ por velocidades altas en carretera	$\frac{kgCO_2 \text{ total por velocidades altas en carretera}}{\text{Tamaño de la muestra}}$
Emisiones de CO ₂ por uso inmoderado de aire acondicionado	$\frac{kgCO_2 \text{ total por uso inmoderado de aire acondicionado}}{\text{Tamaño de la muestra}}$
Emisiones de CO₂ en exceso por vehículo	$\frac{kgCO_2 \text{ total en exceso de la muestra}}{\text{Tamaño de la muestra}}$

Nota. Esta tabla muestra las fórmulas que se utilizaron para calcular los índices de contaminación ambiental, los cuales están asociados a la tabla 1.

Tabla 3. Fórmulas empleadas para el cálculo de índices de contaminación ambiental por CO₂

Paso 7. Cálculo de los indicadores de emisiones.

Se calcularon los indicadores de emisiones de dióxido de carbono empleando los valores obtenidos para cada una de las variables. Para ello, se utilizaron las fórmulas mencionadas en la tabla 3.

Discusión y análisis de resultados

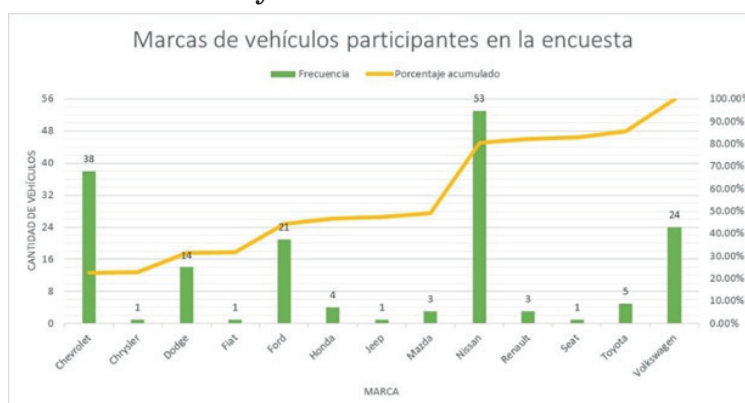
Se contabilizaron en total 169 cuestionarios de diferentes municipios del estado de Tabasco (50 en Cárdenas, 35 en Centro, 29 en Comalcalco, 25 en Cunduacán y 30 en Paraíso). De lo anterior, el 64.5 % fueron hombres y el 35.5 % mujeres. La distribución de edades fue desde los 20 hasta los 82 años, sobresaliendo 42 años con un 7.7 %. Dentro de los datos recolectados se encontraron vehículos a partir del año 2008 hasta el 2021, de las marcas Nissan, Chevrolet, Chrysler, Dodge, Fiat, Ford, Honda, Jeep, Mazda, Renault, Seat, Toyota y Volkswagen, todos con uso de gasolina como combustible. En la tabla 4 se puede observar la frecuencia para cada una de las marcas de vehículos registradas en la investigación, predominando la marca Nissan (ver figura 1) con 53 unidades móviles (31.36 %). La submarca con mayor fre-

cuencia es Sentra, con el 8.9 % de participación. Con relación al año de los vehículos, la moda la obtuvieron los modelos 2016, con el 14.2 %. El 95.3 % de los vehículos presentaron un cilindraje de 4. El tipo de transmisión predominante fue manual con el 53.8 %, seguido de la automática (43.8 %). El tamaño del motor que presentó una mayor frecuencia fue 1.6 L (33.1 %), seguido de 1.8, 2.0 y 2.5 con el 14.2 %, 12.4 % y 11.8 %, respectivamente. El rango de potencia oscila entre los 64 y los 283 HP, con una media de 129.86 HP.

Marca	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Chevrolet	38	22.49 %	22.49 %
Chrysler	1	0.59 %	23.08 %
Dodge	14	8.28 %	31.36 %
Fiat	1	0.59 %	31.95 %
Ford	21	12.43 %	44.38 %
Honda	4	2.37 %	46.75 %
Jeep	1	0.59 %	47.34 %
Mazda	3	1.78 %	49.11 %
Nissan	53	31.36 %	80.47 %
Renault	3	1.78 %	82.25 %
Seat	1	0.59 %	82.84 %
Toyota	5	2.96 %	85.80 %
Volkswagen	24	14.20 %	100.00 %
Total	169	100.00 %	-

Nota. Esta tabla señala la frecuencia para cada una de las marcas de vehículos analizadas, al igual que su porcentaje conforme al total de la muestra.

Tabla 4. Marcas de vehículos participantes en la encuesta



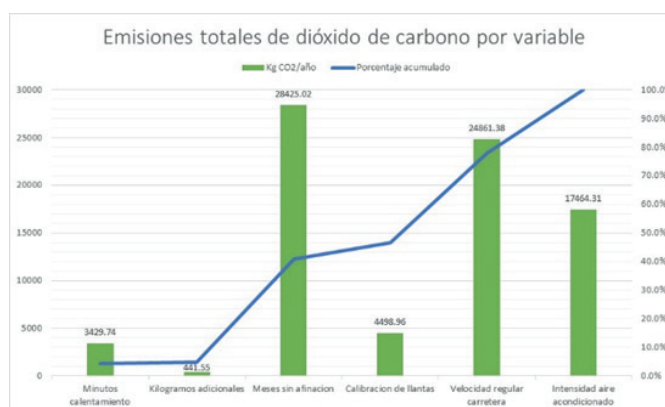
Nota. El gráfico representa las diferentes marcas de vehículos analizadas, en correspondencia a lo descrito en la tabla 4.

Figura 1. Marcas de vehículos participantes en la encuesta.

Variable analizada	Litros de combustible	kgCO ₂ /año	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Minutos calentamiento	1470.95	3429.74	4.3 %	4.3 %
Kilogramos adicionales	189.37	441.55	0.6 %	4.9 %
Meses sin afinación	12190.95	28425.02	35.9 %	40.8 %
Calibración de llantas	1929.52	4498.96	5.7 %	46.5 %
Velocidad regular carretera	10662.57	24861.38	31.4 %	77.9 %
Intensidad aire acondicionado	7490.11	17464.31	22.1 %	100.0 %
Total	33933.46	79120.96	100.0 %	-

Nota. Esta tabla menciona la cantidad de combustible que se consume y la masa de CO₂ que se produce para cada una de las variables estudiadas, al igual que sus porcentajes con relación al total de emisiones.

Tabla 5. Emisiones de CO₂ por vehículo al año



Nota. Este gráfico representa los valores mencionados en la tabla 5 acerca de las emisiones de CO₂ calculadas para cada variable.

Figura 2. Emisiones totales de CO₂ por vehículo al año.

Se analizaron los resultados obtenidos en kgCO₂ para cada variable y por cada vehículo. En la tabla 5 se puede observar la cantidad de CO₂ que se genera anualmente, según las variables estudiadas (ver figura 2), obteniendo un total de emisiones para la muestra equivalente a 79120.96 kgCO₂/año.

De la aplicación de las fórmulas de la tabla 3, se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 6, la cual incluye el total de emisiones de CO₂ en exceso por vehículo.

La cantidad de emisiones de CO₂ generada en exceso anualmente por cada vehícu-

lo (468.17 kgCO₂) representa el 15.21 % adicional del valor que el vehículo debería emitir bajo condiciones mecánicas y hábitos de conducción recomendados (Portal Eco-vehículos, s.f.), teniendo en cuenta que la media bajo condiciones esperadas equivale a 3,077.44 kgCO₂/(vehículo*año) como se puede observar en la tabla 7. De ello, es posible identificar que se consumen en exceso 200.79 L de combustible anualmente por cada vehículo, lo que equivale a 468.17 kgCO₂/(vehículo*año).

En la tabla 7 se indica que existen conductores que mantienen y emplean los

Indicador	Resultado
Emisiones de CO ₂ por calentamiento en vacío por vehículo	20.29 kgCO ₂
Emisiones de CO ₂ por carga adicional en cajuela por vehículo	$\frac{\text{vehículo} * \text{año}}{2.61 \text{ kgCO}_2}$
Emisiones de CO ₂ por afinación deficiente por vehículo	$\frac{\text{vehículo} * \text{año}}{168.20 \text{ kgCO}_2}$
Emisiones de CO ₂ por presión incorrecta de las llantas por vehículo	$\frac{\text{vehículo} * \text{año}}{26.62 \text{ kgCO}_2}$
Emisiones de CO ₂ por velocidades altas en carretera	$\frac{\text{vehículo} * \text{año}}{147.11 \text{ kgCO}_2}$
Emisiones de CO ₂ por uso inmoderado de aire acondicionado	$\frac{\text{vehículo} * \text{año}}{103.34 \text{ kgCO}_2}$
Emisiones de CO₂ en exceso por vehículo	$\frac{\text{vehículo} * \text{año}}{468.17 \text{ kgCO}_2}$

Nota. Esta tabla muestra los resultados de los indicadores calculados conforme a las fórmulas mencionadas en la tabla 3.

Tabla 6. Índices de contaminación ambiental por CO₂ emitido por condiciones mecánicas y hábitos de conducción diferentes a los recomendados por la CONUEE.

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
<i>Emisiones esperadas bajo condiciones mecánicas y hábitos de conducción conforme a lo recomendado por la CONUEE</i>				
Litros de combustible en 15000 km (L)	857.14	2392.34	1319.86	287.92
Emisiones de dióxido de carbono $\left(\frac{\text{kgCO}_2}{\text{vehículo} * \text{año}}\right)$	1998.56	5578.11	3077.44	671.33
<i>Emisiones excesivas bajo condiciones mecánicas y hábitos de conducción diferentes a lo recomendado por la CONUEE</i>				
Litros de combustible en 15000 km (L)	0	566.51	200.79	112.18
Emisiones de dióxido de carbono $\left(\frac{\text{kg CO}_2}{\text{vehículo} * \text{año}}\right)$	0	1320.89	468.17	261.55

Nota. Esta tabla muestra un comparativo de las emisiones que se generarían si se tomaran en cuenta las recomendaciones de la CONUEE sobre condiciones mecánicas y hábitos de conducción con respecto a las que se generan en exceso al evitar considerar dichas recomendaciones.

Tabla 7. Comparativo de emisiones esperadas y emisiones excesiva.

vehículos bajo condiciones mecánicas y hábitos de conducción equivalentes a los recomendados (cero litros de combustible adicionales y, por tanto, cero emisiones adicionales), mientras que hay otros conductores que reflejan casi el triple del

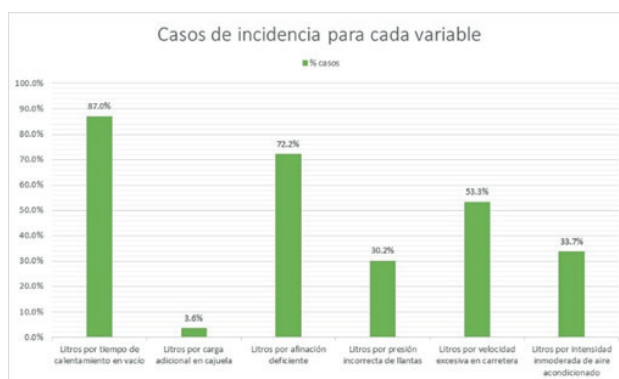
valor de emisiones de dióxido de carbono (máximo equivalente a 1320.89 kgCO₂/ (vehículo*año)) con respecto la media.

La incidencia para cada una de las variables con respecto al tamaño de la muestra

Variable	N	Nº casos	% casos
Litros por tiempo de calentamiento en vacío	169	147	87.0 %
Litros por carga adicional en cajuela	169	6	3.6 %
Litros por afinación deficiente	169	122	72.2 %
Litros por presión incorrecta de llantas	169	51	30.2 %
Litros por velocidad excesiva en carretera	169	90	53.3 %
Litros por intensidad inmoderada de aire acondicionado	169	57	33.7 %

Nota. Esta tabla menciona el número de casos de incidencia para cada variable y su respectivo porcentaje con relación al tamaño de la muestra (N).

Tabla 8. Resumen general de casos de incidencia para cada variable.



Nota. Este gráfico representa el porcentaje de casos de incidencia para cada variable conforme a lo indicado en la tabla 8.

Figura 3. Casos de incidencia para cada variable.

indica que dentro de los factores que contribuyen más frecuentemente a generar emisiones excesivas entre los usuarios es el tiempo de calentamiento en vacío y la afinación deficiente con 87 % y 72.2 % de los casos, respectivamente. En contraparte, el factor menos frecuente es la carga adicional en cajuela con solo 3.6 % (ver tabla 8 y figura 3). No obstante, es importante visualizar que no todos los cuestionarios respondidos representan consumo excesivo de combustible en todas las variables, es decir, los conductores no inciden en el 100 % de las variables. Por ejemplo, no se registró algún usuario que presentara consumo excesivo en todas las condiciones mecánicas y hábitos de conducción evaluados. Por otro lado, el 2.4 % de los ca-

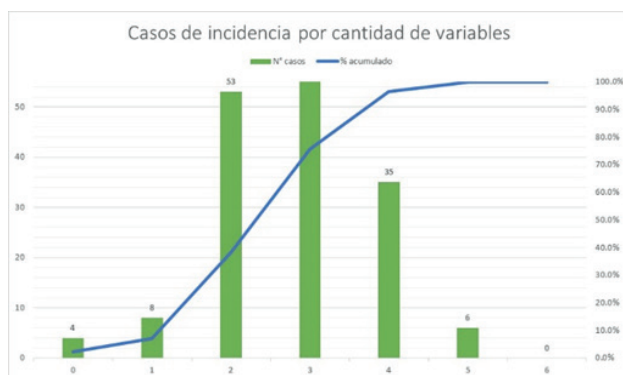
sos no muestran generación de emisiones en exceso conforme a las variables evaluadas en el proyecto. Las frecuencias más altas se reportan para incidencias desde dos hasta cuatro variables, sumando entre ellos 89.4 % del total de los casos evaluados (ver tabla 9 y figura 4).

Conforme a la tabla 7, en promedio, cada vehículo está consumiendo 1520.65 L de combustible al año (suma de las medias bajo condiciones recomendadas -1319.86 L- y los excesos bajo condiciones no recomendadas -200.79 L-), lo cual significa que, al aplicar hábitos de conducción y condiciones mecánicas, se puede reducir el consumo de combustible en un 13.2 % del total estimado.

Cantidad de variables	Nº casos	% casos	% acumulado
0	4	2.4 %	2.4 %
1	8	4.7 %	7.1 %
2	53	31.4 %	38.5 %
3	63	37.3 %	75.7 %
4	35	20.7 %	96.4 %
5	6	3.6 %	100.0 %
6	0	0.0 %	100.0 %
Total	169	100.0 %	-

Nota. Esta tabla menciona el número de casos de incidencia por cantidad de variables y sus respectivos porcentajes con relación al tamaño de la muestra (169).

Tabla 9. Resumen de casos de incidencia por cantidad de variables.



Nota. Este gráfico representa el número de casos de incidencia por cantidad de variables conforme a lo indicado en la tabla 9.

Figura 4. Casos de incidencia por cantidad de variables.

Por otro lado, al considerar como hábitos de conducción Litros por calentamiento en vacío, Litros por velocidad excesiva en carretera y Litros por intensidad inmoderada de aire acondicionado, el consumo en exceso de combustible derivado de la falta de aplicación de las recomendaciones observadas provocaría una media adicional de 116.12 L/(vehículo*año), tal como se muestra en la tabla 10. En este sentido, cada vehículo está consumiendo 1435.98 L al año (suma de las medias bajo condiciones recomendadas -1319.86 L- y los excesos bajo condiciones no recomendadas en hábitos de conducción -116.12 L-) y ello se

traduce en que, al aplicar las recomendaciones de hábitos de conducción se podría reducir el consumo en un 8.09 %. Un estudio determinó una reducción del 15.82 % en el consumo de combustible en un vehículo (Chevrolet Aveo family a gasolina -el más vendido en el país de Ecuador-) al cambiar de una conducción normal a una conducción con ecodriving en una ruta en la ciudad de Quito, argumentando que existe una diferencia significativa en dicho consumo mediante su análisis de varianza (ANOVA) en el *software* STATGRAPHICS Centurion XVI (Leguísamo Milla, Llanes Cedeño, & Rocha Hoyos, 2020).

Variable	N	Litros/año	%
Litros por tiempo de calentamiento en vacío	169	1470.95	7.5 %
Litros por velocidad excesiva en carretera	169	10662.57	54.3 %
Litros por intensidad inmoderada de aire acondicionado	169	7490.11	38.2 %
Total	-	19623.63	100.0 %
Promedio	-	116.12	

Nota. Esta tabla menciona los litros de combustible por año consumidos por los vehículos analizados en las variables asociadas únicamente a los hábitos de conducción, y sus respectivos porcentajes con relación al total de la sumatoria de los resultados de dichas variables.

Tabla 10. Variables asociadas a los hábitos de conducción.

El ecodriving y las estrategias que puedan incrementar el rendimiento de combustible son atractivas para las personas. En promedio, personas de Colombia están dispuestas a pagar 1,020,000 pesos colombianos para mejorar 1 km/galón (equivalente a 264.2 m/L) el rendimiento de combustible (Morales Rodríguez, Ortiz Durán, & Márquez Díaz, 2016). En los resultados de la presente investigación se estima una mejora promedio del 13.2 % (1799 m/L considerando un rendimiento medio de la muestra de 11.83 km/L) por reducción mediante el control de hábitos de conducción y mantenimiento adecuado de condiciones mecánicas, lo que puede implicar incluso más beneficios sin la adquisición de un nuevo vehículo.

Conclusiones

El conocimiento de las cantidades de contaminantes que se pueden evitar emitir a la atmósfera por excesos de consumo de combustible en los vehículos ligeros a partir de la aplicación de adecuados hábitos de conducción y mantenimiento de condiciones mecánicas permite la mejora en la conciencia ambiental de la población y la toma de decisiones asertivas para la minimización y/o mitigación del impacto medioambiental en este ámbito.

A partir del estudio realizado se definió que un vehículo puede generar un consumo promedio de combustible en exceso de 200.79 litros por cada 15,000 km, lo cual representa 468.17 kg de dióxido de carbono adicionales. Sin embargo, se debe tener en cuenta que este valor podría variar de acuerdo con las características propias de cada vehículo.

La condición mecánica que presenta una mayor frecuencia es la afinación deficiente, con el 72.2 % de los casos y emisión de 168.2 kilogramos de dióxido de carbono por vehículo al año. Por otra parte, el hábito de conducción que representa un mayor porcentaje de incidencia es el tiempo de calentamiento en vacío (87 % de los casos) y emisión de 20.29 kilogramos de dióxido de carbono por vehículo al año.

La afinación deficiente representa la causa más frecuente en condiciones mecánicas para la generación de emisiones en exceso, mientras que el tiempo de calentamiento en vacío es la de mayor incidencia para los hábitos de conducción, con 72.2 % y 87 % de los casos, respectivamente. Sin embargo, las tres variables que representan el 89.42 % del total de las emisiones son la afinación deficiente, la velocidad excesiva en carretera (mayor a 90 km/h) y

la intensidad del aire acondicionado, con 35.9 %, 31.4 % y 22.1 %, respectivamente.

Será importante mejorar la difusión en la población en general sobre las distintas publicaciones y recomendaciones que las instituciones de mayor reconocimiento hacen acerca de las condiciones mecánicas y hábitos de conducción de mayor impacto en materia de uso de vehículos tanto ligeros como pesados.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco por las facilidades otorgadas para el desarrollo del proyecto de investigación y este artículo; asimismo, a Hugo Eduardo Gerón Cano y Josmar Hernández González por el valioso apoyo brindado en el seguimiento a dicho proyecto.

Referencias

Barrera Doblado, Ó., y Ros Marín, J. A. *Vehículos eléctricos e híbridos*. Ediciones Paraninfo, 2017.

CONUEE. (17 de julio de 2015a). *Automovilista eficiente*. Obtenido de Gobierno de México: https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/automovilista-eficiente-movilidad-y-transporte_?state=published el 4 de diciembre de 2023.

CONUEE. (12 de marzo de 2015b). *Rendimiento de combustible en vehículos ligeros de venta en México*. Obtenido de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/conuee/documentos/rendimiento-de-combustible-en-vehiculos-ligeros-de-venta-en-mexico> el 4 de diciembre de 2023.

Dammert Lira, A., & García C., R. *Economía de la energía*. Fondo Editorial de

la Pontificia Universidad Católica del Perú, 2020.

Elizondo Cordero, A., & Hernández Amezcua, T. Regulación de las emisiones de CO₂ para vehículos ligeros en México. *Gestión y Política Pública*, XXVII(2), 571-594. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11651/2654>, 2018.

Leguísamo Milla, J. C., Llanes Cedeño, E., & Rocha Hoyos, J. Impacto del Eco-driving sobre las emisiones y consumo de combustible en una ruta de Quito. *Enfoque UTE*, 11(1), 68-83. doi:<https://doi.org/10.29019/enfoque.v11n1.500>, 2020.

Leguísamo, J., Llanes Cedeño, E. A., Celi Ortega, S. F., & Rocha Hoyos, J. C. Evaluación de la conducción eficiente en un motor de encendido provocado, a 2810 msnm. *Información tecnológica*, 31(1), 227-236, doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000100227>, 2020.

Morales Rodríguez, J. E., Ortiz Durán, D. J., & Márquez Díaz, L. G. Efecto del rendimiento del combustible en la decisión de compra de vehículo. *Facultad de Ingeniería*, 25(42), 55-66. doi:<http://dx.doi.org/10.19053/01211129.4629>. 2016.

Portal Eco-vehículos. (s.f.). *Portal de Indicadores de Eficiencia Energética y Emisiones Vehiculares*. Obtenido de Gobierno de México: <https://ecovehiculos.inecc.gob.mx/> el 22 de noviembre de 2022.

Sánchez Ruiz, M., & Solís Fraile, R. *Ámbito científico y matemático II*. Editex. 2020.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (28 de enero de 2021). *México trabaja en la reducción de CO₂ y*

en fortalecer la adaptación al cambio climático. Obtenido de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/dia-mundial-por-la-reduccion-de-las-emisiones-de-carbono-co2?idiom=es> el 4 de diciembre de 2023.

Stanton, N., Landry, S., Di Bucchianico, G., & Vallicelli, A. *Advances in Human Aspects of Transportation*. Springer International Publishing Switzerland. 2017.