

“Inventario de emisiones de fuentes móviles, metodología propuesta”

“Inventory of emissions from mobile sources, proposed methodology”

DOI: 10.46932/sfjdv4n2-007

Received in: April 25th, 2023

Accepted in: May 31th, 2023

Rojas Tapia Alejandro (en memoria)

González Oropeza Rogelio

Doctor of Engineering

Institución: Universidad Nacional Autónoma de México

Dirección: Facultad de Ingeniería X-228, Universidad 3000, Coyoacán

Correo electrónico: rog1950@unam.mx

Cedillo Cornejo Edgar Eduardo

Master of Engineering

Institución: Universidad Nacional Autónoma de México

Dirección: Facultad de Ingeniería X-228, Universidad 3000, Coyoacán

Correo electrónico: edgar.cedillo@fi.unam.edu

González Pineda Francisco

Master of Engineering

Institución: Universidad Nacional Autónoma de México

Dirección: Facultad de Ingeniería X-227, Universidad 3000, Coyoacán

Correo electrónico: frangopi@comunidad.unam.mx

RESUMEN

Los inventarios de las emisiones contaminantes en una ciudad o región, son herramientas fundamentales para adoptar una política bien direccionada para el control de los gases emitidos en los diferentes sectores como el industrial, el de transporte, doméstico, etc. En este contexto, las diversas fuentes que se pueden consultar mencionan a los vehículos como responsables de un porcentaje significativo de emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero. La metodología propuesta en este trabajo, para la elaboración de un inventario de las emisiones que arrojan los vehículos, ha sido desarrollada por el grupo de trabajo denominado UNICE (Unidad de Investigación y Control de Emisiones) y es una combinación de pruebas en banco dinámico con algunos motores, simulación de vehículos recorriendo un ciclo de manejo representativo de la ciudad donde se requiere el inventario y algoritmos termodinámicos que nos permiten estimar los factores de emisión de los vehículos de la muestra. Se debe calcular una muestra representativa de los vehículos, ya sean ligeros, pesados o motocicletas. Una vez que se tienen los factores de emisión de dichos vehículos, se podrá hacer una extrapolación a todos los vehículos representados por la muestra estadística.

Palabras clave: inventario de emisiones, emisiones de fuentes móviles, gases de efecto invernadero.

ABSTRACT

Inventories of polluting emissions in a city or region are essential tools to adopt a well-directed policy for the control of gases emitted in different sectors such as industry, transport, domestic, etc. In this context, the various sources that can be consulted mention vehicles as being responsible for a significant percentage of polluting emissions and greenhouse gases. The methodology proposed for the elaboration

of an inventory of the emissions produced by the vehicles, it has been developed by the working group, called UNICE (in Spanish Research Unit and Emissions Control) and it is a combination of dynamometric tests with some engines, simulation of vehicles going through a representative driving cycle of the city where the inventory is required, and thermodynamic algorithms that allow us to estimate the emission factors of the vehicles in the sample. A representative sample of vehicles, whether light, heavy or motorcycles, must be calculated. Once the emission factors are available, an extrapolation can be made from said vehicles to all the vehicles represented by the statistical sample.

Keywords: emissions inventory, mobile source emissions, greenhouse gases.

1 INTRODUCCIÓN

De acuerdo con ONU-Habitat, las ciudades consumen el 78 % de la energía mundial y producen más del 60 % de las emisiones de gases de efecto invernadero, sin embargo, abarcan menos del 2 % de la superficie de la Tierra. Las iniciativas del Acuerdo de París demuestran que lograr el objetivo del 1.5 °C requiere la movilización de la sociedad por completo, países, regiones, ciudades, empresas, inversores, organizaciones, etc. y la colaboración dirigida a reducir las emisiones netas a cero para 2050 [7] [2] [3].

En este contexto, a los Motores de Combustión Interna (MCI) se les ha considerado como una de las principales fuentes de deterioro ambiental [4] [5] [6] ya que, la exposición prolongada a un contaminante puede reducir en varios años la esperanza de vida de un ser humano.

Los inventarios de emisiones de fuentes móviles, pueden expresarse por día, por semana, por mes o por año calendario aduciendo el tipo de vehículo (ligero, pesado o motocicleta, respecto a aquellos vehículos que circulan por carretera), también podrá calcularse de acuerdo al uso de combustible, o también acotarlo al municipio, estado o país, según el nivel de desagregación que se requiera o de acuerdo a la calidad y disponibilidad de los insumos [1] [8] [9]. Los contaminantes de interés clave en este tipo de emisiones, incluyen los contaminantes criterio [10]: óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), e hidrocarburos no quemados (HC).

2 ESTRUCTURA

La metodología propuesta para generar un inventario de emisiones contaminantes ocasionadas por fuentes móviles tiene parte de simulación numérica, pero dicha simulación está respaldada por datos experimentales, obtenidos en banco de motores y pruebas de corroboración en dinamómetro de chasis, como se explicará en el transcurso de este trabajo [1].

Las 4 etapas de que está compuesta esta metodología son las siguientes y se describirán una a una:

Etapa 1. Elección de la muestra

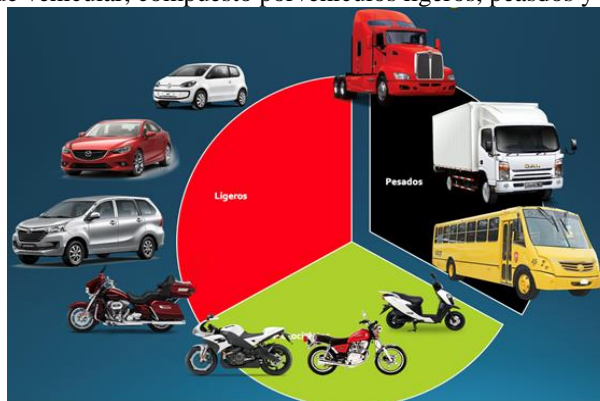
Etapa 2. Ensayos experimentales en un banco dinamométrico.

Etapa 3. Cálculo de la masa de contaminantes.

Etapa 4. Uso de un simulador de vehículos para obtener factores de emisión.

En primer lugar, se debe acotar o determinar la fracción de la flota de transporte donde se va a hacer el estudio y definir el área que abarcará dicho estudio. En la fig.1 se muestran los 3 grandes sectores de que se compone el transporte en nuestro país.

Fig. 1 Parque vehicular, compuesto por vehículos ligeros, pesados y motocicletas.



En este trabajo se ha elegido al sector de los VEHÍCULOS LIGEROS (VL) que comprenden autos y camionetas que no excedan de un peso bruto vehicular de 2,600 kg. Así, en este contexto, no se tomarán en cuenta las motocicletas ni los vehículos pesados como son los camiones de carga pesada y los autobuses. No obstante, de reducir el universo del transporte, se debe tomar una muestra representativa para que con dicha muestra se trabaje. En este caso nos auxiliamos de la Tabla Maestra, de la oficina de Gestión del Aire de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México. Dicha dependencia lleva un registro de las marcas, modelos, año de fabricación y otros datos técnicos de los vehículos que, llegan a medir los niveles de emisiones contaminantes en los verificentros.

3 DESARROLLO

Etapa 1. Elección de la muestra

Para obtener una muestra representativa de los vehículos ligeros (automóviles) que circulan en de la Ciudad de México, nos apoyamos en la Tabla Maestra, que contiene información importante para estos propósitos. Dentro de los datos que contiene el documento destacan: marca, submarca, tipo de combustible, tipo de carrocería, tipo de alimentación, cilindros, cilindrada, convertidor catalítico, OBD, año, entre otros.

Este documento tiene registrados 5895 modelos de vehículos (1564 autobuses y camiones, y 4331 automóviles). Tras de una primera depuración, se obtienen 3242 automóviles. Tomar en cuenta que la

población total es 5,412,232 vehículos ligeros en la región central, calculando este dato con muchas reservas.

Para calcular la cantidad de vehículos que puede ser adecuada en la muestra representativa para este estudio se empleó un modelo para población "infinita" ya usado antes por García [11], que la relaciona con el error relativo de las mediciones en el muestreo, y con la confiabilidad de los resultados cuando se comparan con lo medible en la población original [12]. Con confiabilidad establecida con el valor 0.90, se evaluaron varios tamaños de muestra hasta encontrar que 28 vehículos es el tamaño mínimo necesario para lograr un error relativo con valor 0.15. Finalmente, para este estudio se usaron 20 vehículos por cuestiones prácticas del muestreo.

Etapas 2. Ensayos experimentales en un banco dinamométrico.

De los **20** vehículos que tiene la muestra representativa, **8** tienen instalados motores muy semejantes entre sí, que pueden ser representados por 1 tipo de motor, dígame un motor de 4 cilindros y 2 litros de desplazamiento, otros **4** tienen un tipo de motor de 6 cilindros y 2.5 litros de desplazamiento, **5** vehículos más tienen todos ellos un motor de 4 cilindros y un desplazamiento que oscila entre 1.2 y 1.6 litros. Finalmente hay **3** vehículos que tienen 8 cilindros y un motor de entre 3 y 3.6 litros de desplazamiento.

Escogemos los 4 siguientes motores:

- JTS 2.0L Volkswagen, 4 cilindros inyección directa
- XJT 2.5 L Spirit, 6 cilindros inyección indirecta
- MSR 1.2 L Nissan, 4 cilindros inyección indirecta
- XPT 3.0 L Lobo, 8 cilindros inyección indirecta

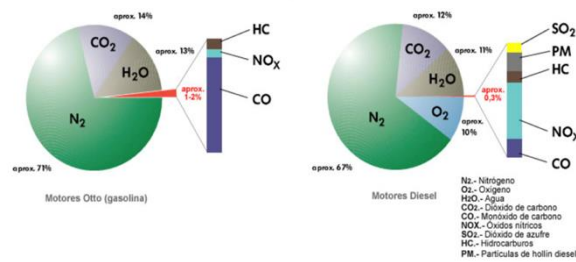
Se montarán uno a uno esos 4 motores en banco dinamométrico para reproducir su curva de PAR, tal como aparece en la ficha técnica de cada motor, pero además se registrará Potencia, Consumo De Combustible, y Emisiones Contaminantes (CO, HC, NOx). Toda esta información (bases de datos) se proporcionará al sistema de simulación para que arroje datos reales, factores de emisión que puedan calcularse en condiciones reales de operación.

Los datos que se obtuvieron del simulador, aunque corresponden al ciclo de manejo mexicano que previamente fue desarrollado por UNICE, corresponden a otros vehículos diferentes a los de la muestra mencionada líneas arriba, a fin de describir con claridad la metodología a que hace alusión el presente trabajo. Se utilizaron los datos que ya estaban cargados en el sistema ya que no fue posible realizar los ensayos en los motores de la muestra, debido al confinamiento de los 2 años anteriores.

Etapas 3. Cálculo de la masa de contaminantes.

La masa de cada especie (contaminante) se calcula utilizando un analizador de gases para determinar la concentración de cada gas, y se considera que, los gases que salen por el escape son una mezcla de gases ideales: oxígeno, monóxido de carbono, bióxido de carbono, monóxido de nitrógeno, bióxido de nitrógeno, hidrocarburos no quemados y nitrógeno. Existen otros productos resultados de la combustión, pero no son considerados en los cálculos debido a que representan un valor menor al 1% del total de los gases de escape.

Fig. 2 Composición de los gases de escape



Aplicando la Ley de Dalton de presiones aditivas, así como la de Amagat de volúmenes aditivos [13], se llega a establecer la relación:

$$\dot{m}_i = Y_i^2 * \frac{M_i}{M_{ge}} * \dot{m}_{ge} \quad (1)$$

donde:

- \dot{m}_i = masa de la muestra por unidad de tiempo
- Y_i^2 = fracción molar o fracción volumétrica
- M_i = masa molar de la muestra
- M_{ge} = masa molar de los gases de escape
- \dot{m}_{ge} = masa de los gases de escape

La composición de los gases de escape es variable, depende de diversos factores, pero de forma general se acepta la mostrada en la fig. 2 [16]:

71% N₂, 14% CO₂, 13% H₂O, 1.5% CO, 0.3%HC, y 0.2% NO_x

Así que, la masa molecular de los gases de escape será:

$$M_{ge} = 0.71 N_2 + 0.14 CO_2 + 0.13 H_2O + 0.015 CO + 0.003 HC + 0.002 NO_x$$

$$M_{ge} = 0.71 (28) + 0.14 (44) + 0.13 (18) + 0.015 (28) + 0.003 (112.18) + 0.002 (104) = \mathbf{29.3445 [g/mol]}$$

$$M_{ge} = \mathbf{29.3445 [g/mol]}$$

Se requiere determinar la masa de gases de escape \dot{m}_{ge} , para lo cual empleamos una sonda especial en el tubo de escape que registra la temperatura y velocidad a la que salen dichos gases. Para un caso específico, a efecto de ilustrar un ensayo:

$$T_{ge} = 50 \text{ } ^\circ\text{C}, P_{ge} = 79 \text{ kpa}, \overline{C}_{ge} = 3.5 \text{ m/s} \quad \square_{es} = 4.7625 \text{ cm}$$

$$\rho_{ge} = \frac{P_{ge}}{R_{ge} T_{ge}} = \frac{79}{0.2833 \times 323} = 0.8633 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$R_{ge} = \frac{R_u}{M_{ge}} = \frac{8.314}{29.3445} = 0.2833 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$A_{ge} = \frac{\pi (\phi_{ge})^2}{4} = 17.8139 \text{ cm}^2 = 17.8139 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\dot{m}_{ge} = \overline{C}_{ge} A_{ge} \rho_{ge} = 3.5 \times 17.8139 \times 0.8633 \times 10^{-4} = 53.8256 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_{ge} = 5.3825 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

Una vez obtenido un gasto de gases saliendo por el escape, bajo ciertas condiciones de operación, y usando los datos del analizador de gases, se calcula la masa de cada contaminante. En este caso como ejemplo se calcula la masa de bióxido de carbono (CO_2) que arroja el motor en un segundo.

$$Y_{\text{CO}_2} = 14.2 \% \quad \dot{m}_{\text{CO}_2} = (0.142)^2 \frac{44}{29.3445} 5.3826 = 0.165 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

El simulador ADVISOR hace seguir al vehículo virtual, que tiene el motor que se ha ensayado, por el Ciclo De Manejo Mexicano que se ha desarrollado en UNICE en 2019 [11], y que representa la forma típica de conducción por el Valle de México y consecuentemente por la Ciudad de México, para realizar un muestreo de emisiones típico en esta zona, con datos de emisiones reales.

El sistema calcula el rendimiento que son los kilómetros recorridos por cada litro de combustible consumido (km/l) y los factores de emisión de NO_x , CO y HC en (g/km) de tal forma que si se multiplica cada factor de emisión por el rendimiento, tendremos el Índice específico de emisiones, este factor relaciona la cantidad (en masa) de contaminante emitido a la atmósfera, con respecto al volumen de combustible que consume el vehículo. Un nombre que describe mejor a este factor podría ser: factor de emisión volumétrico (fe_v) que, vendría a ser la relación de masa de contaminantes emitidos por litro de combustible consumido [1].

$$fe_v = \left[\frac{\text{g}}{\text{km}} \right] \left[\frac{\text{km}}{\text{l}} \right] = \left[\frac{\text{g}}{\text{l}} \right] \quad (2)$$

Etapa 4. Uso del simulador de vehículos (Advisor) para obtener factores de emisión.

ADVISOR (ADvanced VehIcle SimulatOR) es un simulador elaborado por el Laboratorio de Energías Renovables de Estados Unidos (NREL por sus siglas en inglés, National Renewable Energy Laboratory), desarrollado como una herramienta de análisis, que puede ser utilizada para evaluar y cuantificar el rendimiento de los componentes de la transmisión, el consumo de combustible y las emisiones de un vehículo, mediante un ciclo de manejo determinado [15].

Es un sistema para simulación formado por un conjunto de modelos, datos y guiones para usarse con Matlab y Simulink. Está diseñado para realizar análisis de vehículos convencionales, eléctricos e híbridos.

Esta parte de la metodología es la que sustituye a las pruebas en una celda CVS (Constant Volume Sample) como se hace en los autos nuevos en planta, para medir la masa de contaminantes al seguir un ciclo de manejo de manejo un país o una ciudad, en un ambiente controlado y, dependiendo de los niveles de contaminantes emitidos, la firma automotriz recibirá la autorización o no para comercializar tal vehículo en ese país.

Esta metodología puede calcular emisiones reales de un motor real, de condiciones de manejo reales, por ello nos parece una magnífica opción para construir un inventario de emisiones muy apegado a lo que emite el sector transporte en nuestra ciudad y por supuesto que podría hacerse extensivo a nuestro país.

Es pertinente mencionar que, el software ADVISOR fue desarrollado, probado y liberado en la versión 2.1 de Mathworks (Matlab 6.1 y Simulink 4.1) trabajando con múltiples plataformas en su momento, incluyendo Macintosh, Unix y Pcs, sin embargo, esa versión que era de libre acceso dejó de ser gratuita y por tanto también de actualizarse. Ahora se comercializa como muchos paquetes informáticos similares y se tiene que pagar la licencia correspondiente, sin embargo, el grupo de investigación UNICE, decidió hacer las adecuaciones con las librerías apropiadas para habilitar la versión gratuita, de manera que pudiera correr en las versiones actuales de las plataformas mencionadas, y esto mismo es ya en sí un objetivo de los trabajos que se han desarrollado en UNICE [15].

Fig.3 Simulación mediante ADVISOR

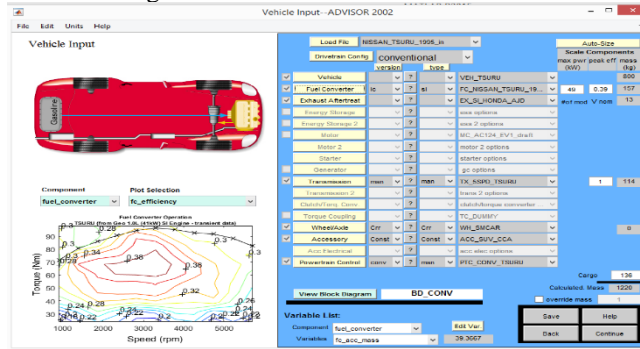
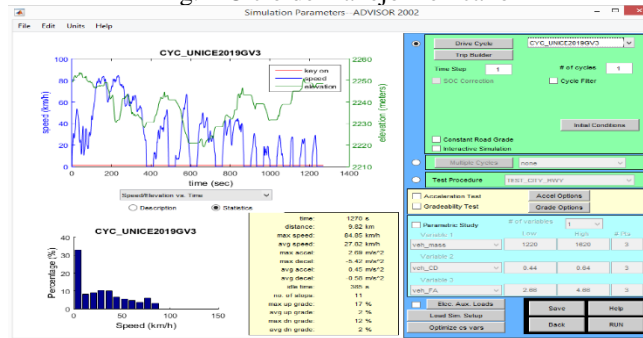


Fig. 4 Ciclo de manejo mexicano



En la ventana de configuración del vehículo, que se desea simular mediante ADVISOR (Fig. 3), el usuario define el evento sobre el que se simulará el vehículo. Algunos de los eventos que se pueden simular incluyen un solo ciclo de manejo, o bien ciclos múltiples y procedimientos de prueba especiales. En este caso el usuario selecciona EL CICLO DE MANEJO MEXICANO, que el grupo UNICE desarrolló en 2019 y que representa la forma típica de conducción en el Valle de México, y se puede observar el perfil de velocidad contra el tiempo. Con los parámetros de simulación configurados, al hacer clic en "ejecutar" se ejecutará la simulación y se proporcionará una pantalla de resultados al finalizar.

Fig. 5 Resultados que da el software ADVISOR



Finalmente, se pueden llevar alguno de estos autos al dinamómetro de chasis para corroborar o ajustar los datos obtenidos en la simulación.

4 RESULTADOS

Una vez que se ha hecho seguir al vehículo virtual por el ciclo de manejo, ADVISOR proporciona factores de emisión, los kilómetros recorridos y los litros de combustible consumidos durante la prueba, de manera que se pueden calcular los factores de emisión volumétricos con la ecuación (2).

Se tiene información en algunas fuentes, respecto al combustible consumido y no respecto a la distancia recorrida, por ejemplo, de la información reportada por la institución AMIA (Asociación Mexicana de la Industria Automotriz), se estima que el consumo promedio ponderado para un auto ligero es 1120 litros de gasolina anuales.

Así pues, considerando este consumo, se pueden determinar las emisiones contaminantes anuales de los vehículos ligeros en la Ciudad de México.

Se muestran a continuación los factores de emisión, así como el cálculo de toneladas anuales de 3 vehículos que, aunque no corresponden a la muestra estadística representativa de la flota vehicular de la Ciudad de México, sí ejemplifican claramente los propósitos de la metodología propuesta.

Tabla1. Concentrado de resultados

Vehículo	Factor de emisión		
	Nissan 1995, 1 litro	Spirit 1992, 1.9 litros	Beetle 2003, 2 litros
HC (g/km)	1.159	0.549	0.314
CO (g/km)	6.375	2.041	5.414
NOx (g/km)	2.102	0.556	0.737

El mismo sistema proporciona el rendimiento del vehículo, por ejemplo para el vehículo 1 se tiene 10.3 l/100 km, o lo que es lo mismo 9.7087 km/l, así que aplicando:

$$fe_v = \left[\frac{g}{km} \right] \left[\frac{km}{l} \right] = \left[\frac{g}{l} \right] \quad (2)$$

Se obtienen los factores de emisión volumétricos.

Tabla 2. Factores de emisión volumétricos

Factor de emisión volumétrico (fe_v)			
Vehículo	Nissa 1995, 1 litro	Spirit 1992, 1.9 litros	Beetle 2003, 2 litros
HC (g/l)	11.251	2.483	3.108
CO (g/l)	61.888	9.233	53.598
NO _x (g/l)	20.406	2.515	7.296

Finalmente, tomando el dato del consumo anual de los vehículos ligeros que proporciona AMIA.

Tabla 3. Resultados para inventario, vehículo 1

Contaminante	Toneladas anuales (ton)
HC (g/l)	0.012601
CO (g/l)	0.069314
NO _x (g/l)	0.02285

Tabla 4. Resultados para inventario, vehículo 2.

Contaminante	Toneladas anuales (ton)
HC (g/l)	0.002780
CO (g/l)	0.010340
NO _x (g/l)	0.008160

Tabla 5. Resultados para inventario, vehículo 3.

Contaminante	Toneladas anuales (ton)
HC (g/l)	0.002780
CO (g/l)	0.010340
NO _x (g/l)	0.008160

Por supuesto, habrá que estimar cuantos vehículos representan cada uno de la muestra estadística, para estimar las toneladas de contaminantes netas que son arrojadas a la atmósfera por este tipo de vehículos.

5 CONCLUSIONES

1. La metodología propuesta coincide con la Ley General del Cambio Climático, ya que el registro nacional de emisiones (RENE) establece tres métodos para México:
 - a) Cálculo mediante factores de emisión
 - b) Cálculo mediante balance de materiales
 - c) Las que determine el IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, organización intergubernamental de las Naciones Unidas.

2. El trabajo muestra una metodología inédita para estimar las emisiones contaminantes emitidas por vehículos ligeros en la Zona Metropolitana del Valle de México. Tiene una parte de simulación numérica, y dicha simulación podrá estar respaldada por datos experimentales, obtenidos en banco de motores y pruebas de corroboración en dinamómetro de chasis.
 3. Para realizar la simulación numérica se utilizó el software ADVISOR, versión libre con adaptaciones que se le hicieron para trabajar con plataformas actuales. También se utilizó un ciclo de manejo MEXICANO para vehículos ligeros, circulando en la Ciudad de México.
 4. Los gases que se han tomado en cuenta aplicando esta metodología son por ahora:
 - a. HC (hidrocarburos)
 - b. NO_x (óxidos de nitrógeno)
 - c. CO (monóxido de carbono)
- Pero se extenderá a otros contaminantes en la medida que se cuente con equipo adecuado.
5. A partir de suponer un comportamiento ideal para los gases de escape, se han establecido algunas relaciones termodinámicas que, permiten calcular la masa de contaminantes usando un analizador de 5 gases, lo que disminuye notablemente el costo de equipo de medición.
 6. Creemos que esta propuesta puede obtener resultados más cercanos a la realidad que, los métodos de encuestas y correlaciones que han usado algunas empresas extranjeras que ha contratado el gobierno de la Ciudad de México para obtener sus inventarios de emisiones.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo de la UNAM a través de la DGAPA mediante el PROYECTO PAPIIT IG100222, intitulado: Modificaciones estimadas del parque vehicular en la Ciudad de México hacia las décadas 30's y 40's, así como su impacto en las emisiones de contaminantes atmosféricos criterio y gases de efecto de invernadero.

REFERÊNCIAS

- [1] Propuesta metodológica para determinar un inventario de emisiones producidas por fuentes móviles para la Ciudad de México, tesis (2021). Alejandro Rojas Tapia†, Facultad de Ingeniería, UNAM México.
- [2] IPCC, 2014. Resumen para responsables de políticas. En: Cambio climático 2014: Mitigación del cambio climático. Contribución del Grupo de trabajo III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel y J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- [3] United Nations Environment Programme (UNEP); "El mundo debe reducir las emisiones 7,6% anual en la próxima década para lograr objetivo de 1,5°C"; Consultado en <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/el-mundo-debe-reducir-las-emisiones-76-anual-en-la> (2019).
- [4] Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Naciones Unidas 1998. Disponible en: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- [5] INECC, SEMARNAT. (2015). Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- [6] INECC, SEMARNAT. (2018). Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático/ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales México.
- [7] IPCC 2013. Resumen para responsables de políticas. En: Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- [8] Inventario de Emisiones a la Atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de la Ciudad de México, 1996. (1999). Comisión Ambiental Metropolitana. Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-1996/#p=1>
- [9] Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2018 and inventory report 2020.
- [10] DOF: 05/09/2017. Norma Oficial Mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017. Que establece los Límites Máximos Permisibles de emisión de contaminantes para los vehículos automotores que circulan en la Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala; los métodos de prueba para la evaluación de dichos límites y las especificaciones de tecnologías y hologramas.
- [11] Síntesis de ciclos de manejo vehicular para automóviles en la Zona Metropolitana del Valle de México, tesis García Zamudio E.F., Hernández-Rito L.A. (2019) Facultad de Ingeniería, UNAM, México
- [12] Síntesis de Ciclos de Manejo Vehicular para el Análisis de Emisiones Contaminantes, tesis (2019). Cedillo Cornejo E. Facultad de Ingeniería, UNAM, México
- [13] Thermodynamics, McGraw Hill, 2nd ed, 1971. Wark Kenneth

- [14] Universidad Politécnica de Valencia, España. Editores: F. Payri, J. M. Desantes. Motores de Combustión Interna Alternativos, Editorial Reverté. Barcelona, 2011
- [15] Validación del simulador Advisor en un vehículo híbrido, mediante ensayos experimentales. F. García Chávez (2020) Facultad de Ingeniería, UNAM, México.
- [16] Medición de las emisiones de gases de escape de los vehículos automóviles. de la homologación a la inspección técnica. J.L San Román G. Universidad Carlos III de Madrid. http://www.f2i2.net/documentos/lsiF2I2/jornadas/20160712_Emisiones/Presentaci%C3%B3n%20JORNADA%20EMISIONES%20madrid%202016_JLSR_r1.pdf