



DETERMINACIÓN DEL DESEMPEÑO ENERGÉTICO Y AMBIENTAL DE UNA MOTOCICLETA DOS TIEMPOS CONVERTIDA A ELÉCTRICA PARA EL MEJORAMIENTO DEL TRÁNSITO, LA SEGURIDAD Y LA GESTIÓN VIAL

Camilo Salcedo Jiménez, Álvaro Delgado Mejía, Bayron Álvarez Arboleda

**Institución Universitaria Pascual Bravo
Medellín, Colombia**

Resumen

Atendiendo a la problemática ambiental que se presenta en ciudades con alta densidad poblacional, se ha identificado al sector transporte como uno de los principales generadores de gases efecto invernadero (GEI), compuestos orgánicos volátiles (COV) y material particulado (PM) a nivel nacional. Dichos contaminantes, generados por vehículos impulsados por Motores de Combustión Interna (MCI), y que abarcan desde motocicletas hasta tractocamiones, representan un detrimento en la calidad del aire, lo que implica daños al medio ambiente y a la salud de la población.

Por lo tanto, en este proyecto se presenta el proceso de caracterización experimental y conversión de una motocicleta de propulsión MCI dos tiempos a Vehículo Eléctrico de Baterías (VEB), detallando su desempeño antes y después de la conversión en términos de potencia, torque, emisiones contaminantes y funcionalidad en condiciones mixtas de operación, mediante pruebas de desempeño en laboratorio. A partir de estos datos, se cuantifica el impacto en términos ambientales, de seguridad, movilidad y gestión vial derivados de dicha conversión.

Los resultados indican que, en cuanto a desempeño, a pesar de que la motocicleta en modo MCI ofrece mayores prestaciones (velocidad y potencia), el desempeño mecánico de la motocicleta en modo VEB resulta apropiado para las condiciones de tráfico presentes en las principales ciudades de Colombia. Por otra parte, la disminución de emisiones contaminantes derivada de la conversión

reduce el riesgo de contraer enfermedades respiratorias para todos los actores viales, así como la ocurrencia de accidentalidad vial, particularmente en momentos de alta concentración vehicular durante las horas pico; representando así mejoras en la seguridad y gestión vial.

Palabras clave: movilidad eléctrica; emisiones contaminantes; conversión automotriz

Abstract

Regarding the environmental problematic in densely populated cities, the transportation industry has been acknowledged as one of the main causes for greenhouse gas (GHG), Volatile Organic Compounds (VOC), and Particulate Matter (PM) emissions nationwide. Such pollutants, produced by internal combustion engine-propelled vehicles (ICE), which range from motorcycles all the way to heavy trucks, are detrimental to the quality of air, thus damaging the environment and the people's health.

Therefore, this Project displays the process of experimental characterization and conversion of a two strokes ICE motorcycle into a Battery Electric Vehicle (BEV), establishing its performance prior and after the conversion in terms of power, torque, pollution, and functionality under mixed operations through performance tests in laboratory conditions. Furthermore, the impact in terms of environment, security, and mobility management derived from the conversion is quantified.

Regarding performance, it was concluded that despite reaching greater velocity and power values under ICE operation, the performance of the BEV converted motorcycle was found to be appropriate for the existing transit conditions throughout the main cities of Colombia. On the other hand, the pollution reduction associated to the motorcycle conversion, leads to reducing the risk of contracting respiratory diseases for all the parties involved in road traffic, as well as road traffic accidents; particularly in higher vehicle concentration instances during peak hours; which translates into improved road traffic safety and management.

Keywords: electric mobility; polluting emissions; automotive conversion

1. Introducción

En la actualidad, la reducción en las emisiones de GEI por parte del sector transporte se ha convertido en un gran desafío para mitigar los efectos del cambio climático a nivel global y cumplir con la meta de evitar un aumento en la temperatura global igual o superior a 2°C antes de final de siglo, según lo establecido en el Acuerdo de París sobre el cambio Climático. Se estima que el sector transporte en general emite el 23% de gases de CO₂ a la atmósfera, así como el 15% GEI a nivel global (Banco Mundial, 2017).

Sumado a esto, se estima que para el año 2050 el parque automotor global crecerá en un 70%; mientras que en América Latina se estima que dicho parque alcanzará 200 millones de unidades ese mismo año, resultando en un aumento de la demanda de combustibles fósiles, así como de las



emisiones de GEI, Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) y material particulado fino ($PM_{2.5}$) (Estrategia y Negocios, 2018).

Dicho panorama representa una problemática no solo de salud pública sino de movilidad ya que existe evidencia de como los altos índices de contaminación ambiental también inciden en el incremento de accidentalidad en las vías.

Ante dicho panorama, la movilidad eléctrica representa una alternativa para reducir la dependencia de combustibles fósiles en los sistemas de transporte. Milev et al, encontraron que las emisiones de CO_2 producidas por el parque automotor de vehículos ligeros en Escocia se reducirían cerca de un 77% si dicho parque fuera sustituido en su totalidad por automóviles eléctricos (Milev, Hastings, & Al-Habaibeh, 2019).

2. Problema

Según el Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT) al cierre del año 2020, el parque automotor colombiano estaba compuesto por 16.04 millones de vehículos, de ellos el 40% eran automóviles y el 59% motocicletas, dando un índice de motorización relativamente bajo de 121. La mayor concentración de vehículos se encuentra en la región de Cundinamarca (20%), seguido de Antioquia con un 17%, equivalente a 2.22 millones de unidades (RUNT, 2020).

En Medellín y el AMVA, se estima que el sector transporte genera cerca del 100% de las emisiones de monóxido de carbono (CO), 80% de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x), cerca del 90% de compuestos orgánicos volátiles (COV) y 20% de material particulado (especialmente $PM_{2.5}$).

De estos, las motocicletas contribuyen con el 12% de las emisiones totales de CO, 7% de las emisiones de NO_x , casi el 3% de las emisiones de SO_x , 30% de las emisiones de VOC y 10% de las emisiones de $PM_{2.5}$ (Figura 1) (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2017). Con relación al $PM_{2.5}$, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció que con una reducción de $35 \mu g/m^3$ a $10 \mu g/m^3$ de $PM_{2.5}$, se lograrían reducir en un 15% las muertes asociadas a contaminación ambiental; por lo cual establece unos niveles sugeridos de concentración de dicho material en $10 \mu g/m^3$ media anual y de $25 \mu g/m^3$ media 24 horas (World Health Organization, 2018) Sin embargo, la norma nacional establece un promedio anual nacional cercano a $27 \mu g/m^3$ (año 2016); mientras que en Medellín y AMVA se han observado picos de concentración cercanos a $90 \mu g/m^3$ (marzo 2016) y de $48 \mu g/m^3$ media anual durante el año 2016 (Área Metropolitana Valle de Aburrá); es decir, 4.8 veces la concentración anual sugerida por la OMS.



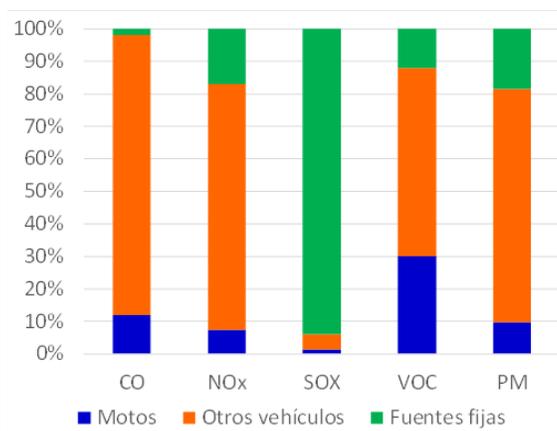


Figura 1 Distribución de emisiones contaminantes para Medellín y AMVA en 2015 según fuente emisora. Adaptada de (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2017).

Con relación al segmento de vehículos eléctricos, se tuvo que para el cierre del año 2020 había 10612 vehículos eléctricos matriculados en el país; de los cuales 5643 (53.1%) fueron ciclomotores, 1726 (16.3%) automóviles, 1377 (13%) motocicletas y 1866 (17,6%) corresponde a otra clase de vehículos. A pesar de la pandemia por covid-19, las matrículas de vehículos eléctricos aumentaron 7.5% durante dicho año (RUNT, 2020).

Por otra parte, y a diferencia del sector automotriz, las grandes compañías de motocicletas han descartado la producción en masa de motos tipo VEB durante los próximos años (Electrek, 2019) (Indian Autos Blog, 2020), por lo cual el mercado mundial de motocicletas VEB es abastecido por compañías de poca trayectoria en la industria; lo cual abre la oportunidad al surgimiento de un mercado enfocado en ofrecer la conversión de vehículos MCI a modo VEB.

3. Metodología

La metodología propuesta para el presente estudio consistió en cuatro fases, descritas a continuación:

- Fase 1: diagnóstico mecánico y eléctrico de la motocicleta.
- Fase 2: instalación del kit eléctrico en la motocicleta, procurando un fácil mantenimiento, montaje y desmontaje para pruebas en condiciones de laboratorio.
- Fase 3: pruebas experimentales en laboratorio para determinar desempeño y emisiones contaminantes de la motocicleta antes y después de la conversión.
- Fase 4: Cuantificación de los costos de manutención de motocicleta en modo MCI, costos asociados a la conversión en VEB e impacto ambiental en operación para posterior análisis comparativo de ambos modos.

Las pruebas de desempeño y emisiones de la motocicleta fueron llevadas a cabo en el Laboratorio de Investigación y Diagnóstico Automotriz (LIDA) de la Institución Universitaria Pascual Bravo. Para la medición de potencia y torque en modos MCI y VEB se cuenta con un dinamómetro de rodillos *Mustang Dynamometer MD-150*, con capacidad de medir hasta 600hp de potencia y 240 km/h en velocidad. Las emisiones gaseosas de la motocicleta en modo MCI fueron medidas a través del



analizador de gases *Stargas 898 OTC*, con capacidad de censar CO, CO₂, HC, O₂, lambda, régimen de giro (rpm) y temperatura de motor (*Figura 2*).



Figura 2 Dinamómetro de rodillos y medidor de emisiones gaseosas

Durante las pruebas se midieron las variables que permitieron calcular los parámetros efectivos del motor, tales como: consumo de combustible, presión media efectiva y autonomía de la motocicleta; además de cuantificar las emisiones producidas durante la operación de la motocicleta. Las pruebas en dinamómetro incluyen:

- Prueba de autonomía
- Prueba de curva de potencia y torque en función del régimen de giro

La motocicleta convertida a modo VEB es una Yamaha DT-125, cuyas especificaciones técnicas de fábrica se detallan en la *Tabla 1*.

Modelo	Yamaha DT-125 1998
Tipo de motor	Monocilíndrico, 2 tiempos, refrigeración por aire.
Cilindrada	123 cm ³
Diámetro x Carrera	56 mm x 50 mm
Relación de compresión	7.2:1
Potencia Máxima	11.5 kW (15 hp) @ 7000 rpm
Torque Máximo	15.2 Nm @ 6500 rpm
Capacidad tanque de combustible	9.5 L (2.5 gal)
Peso	110 kg

Tabla 1 Especificaciones Técnicas Yamaha DT 125. Fuente: (Yamaha Corporation, s.f.)

Mientras que las características técnicas del kit eléctrico instalado en la motocicleta son las siguientes:

Tipo motor	Rueda motor sin escobillas	
Potencia-Voltaje	4 kW-48V	
Controlador	8kW-48V	
Tipo de batería	VRLA (Gel Plomo); 12V-20A. Chilwee mod 6-DZF-20.	Medidas (mm): 180*76*170
Número de baterías	4	
Especificaciones Cargador	V _{in} : 110VAC @50-60hz V _{out} : 59.2VDC (idóneo para 48V) A _{in} : 2.5-2.8A	

Tabla 2 Especificaciones técnicas kit eléctrico



4. Resultados

Prueba de desempeño

Las pruebas de desempeño realizadas con la motocicleta en modo MCI y VEB consisten en identificar la entrega de potencia y torque de la motocicleta en función del régimen de giro (rpm) del motor. A partir de estos valores surge una gráfica conocida como curva de potencia-torque. De estas, se observa que la motocicleta en modo MCI (*Figura 3*) desarrolla una potencia máxima de aproximadamente 10.8 kW a 8200 rpm y torque máximo de 15 Nm a 7100 rpm. Vale aclarar que el sistema de carburación de la motocicleta en modo MCI contaba con un mayor paso de aire de admisión al momento de la prueba, además de no contar con filtro de aire, lo cual elevó su rendimiento volumétrico, compensando así la pérdida de potencia debido a la menor densidad del aire en Medellín (cerca de 20% menos que al nivel del mar). La velocidad máxima medida fue de 112 km/h.

Para el modo VEB (*Figura 4*) se obtuvo una potencia máxima de 6.49 kW a 413 rpm, y torque máximo de 231 Nm a 100 rpm (casi desde el arranque) disminuyendo progresivamente a cerca de 100 Nm a unas 500rpm. La velocidad máxima obtenida fue de 50 km/h.

Debe destacarse la diferencia operativa entre el motor eléctrico empleado y el sistema de MCI. Al tener el motor eléctrico instalado justo en la rueda trasera, su régimen de giro es solidario con el de la rueda trasera ($\text{rpm}_{\text{motor}} = \text{rpm}_{\text{rueda}}$); a diferencia de los motores de combustión, donde el movimiento del motor es transferido a través de un complejo sistema de transmisión hacia la rueda trasera ($\text{rpm}_{\text{motor}} > \text{rpm}_{\text{rueda}}$).

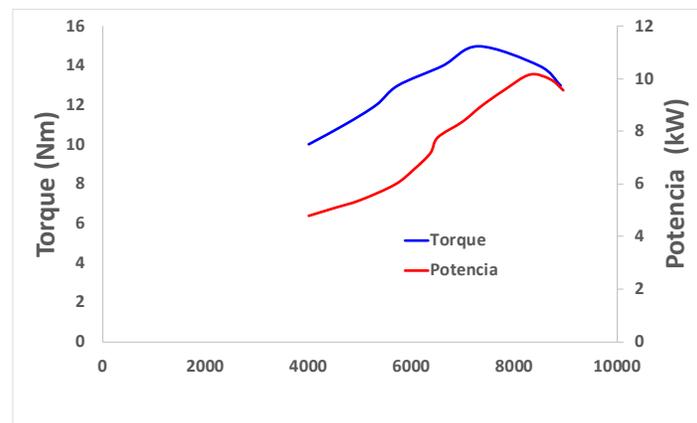


Figura 3 Curvas de torque y potencia máxima modo MCI.



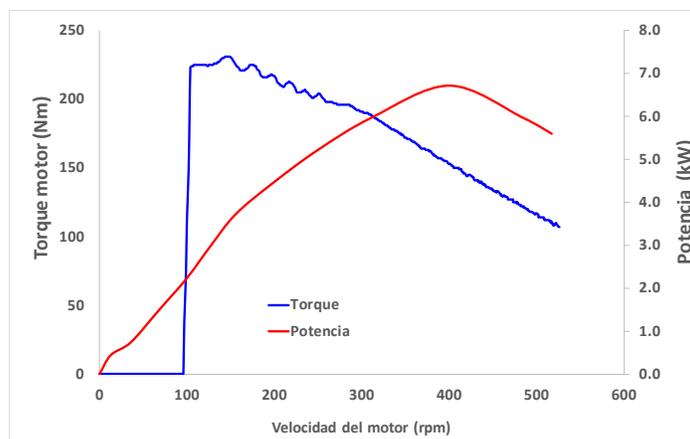


Figura 4 Curvas de potencia y torque máximas en modo VEB.

Prueba de autonomía

En modo MCI (Tabla 3), La autonomía obtenida fue de 18.8 km/l o 68.8 km/gal. Dicha prueba se realizó con la motocicleta operando a velocidad constante de 60 km/h, en quinta marcha con un conductor de 68kg, y en línea recta (dinamómetro en modo libre). Para establecer el consumo de combustible se midió la masa del combustible antes y después de la prueba.

VARIABLE	VALOR
Masa inicial combustible	1720 g
Masa final combustible	1550 g
Densidad gasolina	0.78 kg/l
Tiempo prueba	4 min (240 seg.)
Velocidad	60 km/h @5900 rpm
Masa conductor	68 kg
Autonomía @ 60 km/h	18.18 km/l (68.8 km/gal)

Tabla 3 Datos medidos y resultados de la prueba de autonomía con la motocicleta operando en modo combustión

En modo VEB (Tabla 4) la prueba transcurrió diferente. Al tener una velocidad máxima de 50km/h en este modo; su autonomía se midió llevando la motocicleta a dicha velocidad, y midiendo tanto el tiempo máximo que podía sostener esta velocidad, como el tiempo de descarga total. Así, la motocicleta logró sostener su máxima velocidad durante 16 minutos, mientras que su descarga definitiva se dio a los 18 minutos y 16 segundos.

Por lo tanto, la motocicleta en modo VEB lograría recorrer 13km a una velocidad constante de 50km/h, con un conductor de 68kg en terreno plano; lo cual limita su uso a trayectos netamente urbanos.

VARIABLE	VALOR
Tiempo prueba @ 50 kph	16 minutos (960 segundos)
Peso del conductor	68 kg
Autonomía @ 50km/h	13.33 km/carga

Tabla 4 Resultados de autonomía de motocicleta en modo eléctrico.



Impacto ambiental modo MCI:

La medición de emisiones (Tabla 5) de la motocicleta en modo MCI se realizó conforme a la Resolución 910 de 2008 expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, y según lo establecido por la Norma Técnica Colombiana NTC 5365 para la medición de gases de escape en motocicletas, motociclos, mototriciclos, motocarros y cuatrimotos, accionados tanto a gas o gasolina (motor de cuatro tiempos) como con mezcla gasolina aceite (motor de dos tiempos).

Compuesto gaseoso	Valor medido	Valor permitido	Unidad
CO	0.95	4.5	%VOL
CO ₂	0.90	—	%VOL
HC	2285	10000	ppm vol
O ₂	17.77	—	%
Lambda	2	—	—

Tabla 5 Emisiones contaminantes promedio obtenidas para la motocicleta en modo MCI operando en marcha mínima (ralentí)

Puede observarse que las emisiones de la motocicleta en modo MCI cumplen con los límites especificados en la normatividad vigente en Colombia. Cabe destacar que para motocicletas de dos y cuatro tiempos de modelo posterior a 2010, la emisión máxima permitida de hidrocarburos (HC) totales es de 2000 ppm; valor muy cercano al obtenido por la motocicleta de prueba en modo MCI, la cual posee un motor dos tiempos modelo 1998. Este tipo de motores puede llegar a emitir concentraciones promedio de HC diez veces mayores que las de un motor cuatro tiempos (Alonso & Toro, 2008).

Por otra parte, la estimación de los índices de emisión para CO, CO₂ e HC permite evaluar la contaminación generada en términos de masa por kilómetro recorrido (kg_{gas}/km), de masa por año ($kg_{gas}/año$), y en masa del contaminante por cada kilogramo de combustible quemado (kg_{gas}/kg_{fuel}). Esto se logra tomando la autonomía de la motocicleta y estableciendo un recorrido promedio diario de 30km (Tabla 6).

Kg CO/km	kg CO₂/km	kg HC/km
0.00989	0.01473	0.00432

kg CO/año	kg CO₂/año	kg HC/año
108.31	161.24	47.27

kg CO/kg fuel	kg CO₂/kg fuel	kg HC / kg fuel
0.23	0.35	0.10

Tabla 6 Índices de emisión para la motocicleta en modo MCI

Impacto Ambiental modo VEB:

Durante su operación, la motocicleta en modo VEB no emite ningún tipo de GEI u otros contaminantes. Cabe aclarar que el alcance del presente estudio aborda la contaminación asociada al desplazamiento del vehículo, por lo cual queda abierto el desarrollo de análisis futuros acerca de la contaminación asociada al mantenimiento de la motocicleta tanto en modo MCI como VEB.



5. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

Desempeño:

La motocicleta en modo MCI tiene una entrega de torque más progresiva en un rango más amplio de rpm. Sin embargo, el torque máximo en modo VEB es 14 veces mayor al modo MCI, lo que le permite una mayor aceleración instantánea y capacidad de carga (Tabla 7). Respecto a la velocidad máxima, se ha establecido que la velocidad media de circulación en cierta zona de la ciudad de Medellín oscila entre 20-25 km/h en condiciones normales; mientras que durante las horas pico (7:00-8:00 y 18:00-19:00) la velocidad media en toda la ciudad desciende por debajo de 20 km/h. En ese sentido, la velocidad de la moto eléctrica satisface los requerimientos para desplazamientos en ciudades como Medellín (Sistema Inteligente de Movilidad de Medellín, 2020).

VARIABLES	MCI	VEB	% Dif.	
Torque máximo (Nm)	15.2	234.2	1440%	↗
Potencia Máxima (kW)	10.14	6.7	57%	↘
Autonomía (km/galón) - (km/carga)	69	13.3	419%	↘
Masa total (kg)	107	105	2%	↘
Relación potencia/peso (W/kg)	98.4	63.8	54%	↘
Velocidad máxima (km/h)	112	50	124%	↘

Tabla 7 Resumen comparativo de desempeño motocicleta modo MCI vs. VEB



Figura 5 Motocicleta modo MCI (izquierda) y modo VEB (derecha)

Impacto vial y medioambiental

A pesar de que las emisiones contaminantes generadas por la motocicleta en modo MCI cumplen con las normas nacionales actuales de emisiones; su impacto ambiental por año y por kilómetro recorrido, permiten dimensionar la magnitud de contaminación generada por todo el conjunto de motocicletas en Colombia. Y este es un dato que juega en dos vías; ya que además de los impactos asociados a la salud generados por emisiones de $PM_{2.5}$, se encontró un incremento del 0.3-0.6% en el número de vehículos accidentados por cada $1 \mu g/m^3$ de aumento en la concentración ambiental de $PM_{2.5}$ (Sager, 2019). Esto se debe a que las afectaciones a la salud de la población; particularmente la de conductores como primeras personas expuestas a la contaminación, no solo conllevan a daños cardio pulmonares, sino también a la reducción del desempeño cognitivo e incremento en los niveles de agresividad (Bondy, Roth, & Sager, 2020) (Herrnstadt, Heyes, Muehlegger, & Saberian, 2016) factores causantes de llevar a cabo una conducción imprudente.



Por otra parte, el hecho de convertir una motocicleta a eléctrica mitiga el incremento del parque automotor nacional, dado que se utiliza un vehículo ya existente, mejorando sus prestaciones ambientales; y potencialmente ayudando a reducir la intensidad vehicular, la cual en ciertas zonas de alta congestión vehicular en Medellín alcanza entre 400-500 vehículos por carril por hora (Sistema Inteligente de Movilidad de Medellín, 2020).

Finalmente, en materia ambiental y presupuestal, al llevar a cabo dicha conversión, se tiene la eliminación de numerosos elementos de recambio periódico con los que cuenta un MCI. Aceite de motor, de transmisión (para motos automáticas), que también son elaborados a partir de derivados del petróleo, no solo producen una contaminación asociada a su elaboración, sino que, al tener una disposición final poco regulada a nivel nacional, pueden terminar sometidos a procesos de eliminación aún más contaminantes; o incluso como componentes para el procesamiento de narcóticos (Fundación Con Vida, 2017)

Por lo tanto, esta iniciativa de convertir vehículos con MCI a VEB contribuiría a disminuir enormemente las emisiones contaminantes, mejorando la calidad del aire, y reduciendo los riesgos asociados a accidentalidad por polución, sin que ello signifique adquirir otro vehículo.

6. Referencias

Artículos de revistas

- Sager, L. (2019). Estimating the effect of air pollution on road safety using atmospheric temperature inversions. *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 98.
- Milev, G., Hastings, A., & Al-Habaibeh, A. (2019). Investigating the Effect of Expanding the Use of Electric Cars on the Environment- A Case Study from Scotland. *International Conference on Energy and Sustainable Futures*, 332-337.
- Bondy, M., Roth, S., & Sager, L. (2020). Crime Is in the Air: The Contemporaneous Relationship between Air Pollution and Crime. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*.
- Alonso, W. A., & Toro, M. V. (2008). ESTIMACIÓN DE LA EMISIÓN DE CONTAMINANTES POR MOTOCICLETAS EN EL VALLE DE ABURRA. *DYNA*.

Fuentes electrónicas

- Secretaría de Movilidad de Medellín. (2020, Julio). Consultado el 21 de mayo de 2020 en <https://www.medellin.gov.co/movilidad/cifras-estudios/viewcategory/1872-parque-automotor>.
- Herrnstadt, E., Heyes, A., Muehlegger, E., & Saberian, S. (11 de 2016). Air Pollution as a Cause of Violent Crime: Evidence from Los Angeles and Chicago. Obtenido de http://www.erichmuehlegger.com/Working%20Papers/crime_and_Pollution_fv.pdf
- Fundación Con Vida. (17 de 05 de 2017). Obtenido de https://issuu.com/fundacionconvida/docs/informe_aceites_usados_en_colombia
- Yamaha Corporation. (s.f.). DT125/175 - International Cooperation. Obtenido de <https://global.yamaha-motor.com/business/omdo/products/dt/>
- Indian Autos Blog. (14 de 01 de 2020). Bajaj Auto confirms no electric motorcycle in the pipeline. Obtenido de <https://indianautosblog.com/bajaj-electric-motorcycle-plan-p319431>



- Estrategia y Negocios. (12 de 08 de 2018). E&N. Obtenido de <https://www.estrategiaynegocios.net/lasclavesdeldia/1206455-330/onu-pide-a-latinoam%C3%A9rica-apostar-por-movilidad-el%C3%A9ctrica>
- Electrek. (03 de 04 de 2019). Honda, Yamaha, Suzuki, and Kawasaki reportedly cooperating on electric motorcycles. Obtenido de <https://electrek.co/2019/04/03/honda-yamaha-kawasaki-electric-motorcycles/>
- Banco Mundial. (01 de 12 de 2017). Banco Mundial BIRF AIF. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/results/2017/12/01/mobility>
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2017). Inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, actualización 2015. Obtenido de [https://www.epm.com.co/site/Portals/2/ESTUDIOS%20GNV/Informe Inventario emisiones 2015.pdf?ver=2018-05-08-161950-497](https://www.epm.com.co/site/Portals/2/ESTUDIOS%20GNV/Informe%20Inventario%20emisiones%202015.pdf?ver=2018-05-08-161950-497)
- Área Metropolitana Valle de Aburrá. (s.f.). Obtenido de https://www.envigado.gov.co/mega-plan-movilidad/SiteAssets/004_SECCIONES/DOCUMENTOS/2017/04/PRESENTACION%20del%20Plan%20de%20Movilidad%202017-2020.pdf
- RUNT. (2020). Obtenido de <https://www.runt.com.co/runt-en-cifras>
- Sistema Inteligente de Movilidad de Medellín. (04 de 08 de 2020). Obtenido de <https://www.medellin.gov.co/movilidad/m-en-linea/indicadores#2-velocidad-e-intensidad-promedio-en-los-principales-corredores-viales>
- World Health Organization. (2018). Ambient (outdoor) air pollution. World Health Organization. Obtenido de: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Sobre los autores

- **Camilo Salcedo Jiménez:** Ingeniero Mecánico. c.salcedo@pascualbravo.edu.co
- **Álvaro Delgado Mejía:** Ingeniero Mecánico, Magister en Energía de la Universidad de Antioquia. Profesor Ocasional. alvaro.delgado@pascualbravo.edu.co
- **Bayron Álvarez Arboleda:** Ingeniero Electricista, Magíster en Ingeniería, Doctor en Estudios Organizacionales de Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, México. Profesor de carrera asistente. balvarez@pascualbravo.edu.co.

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2021 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

