

Usabilidad, impactos ambientales y costos de los vehículos de combustión interna y eléctricos

Usability, environmental impacts and costs of internal combustion vehicles and electric vehicles

RENATO ANDARA

Estudiante del Doctorado en Ciencias de la Ingeniería mención Productividad de la Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”, Barquisimeto, Venezuela, Parque Tecnológico, 3001

randara@unexpo.edu.ve

ORCID: 0000-0002-6706-1567

Recibido: 15/07/2019. Aceptado: 15/11/2019.

Cómo citar: Andara, Renato (2020). “Usabilidad, impactos ambientales y costos de los vehículos de combustión interna y eléctricos”, *TRIM*, 17: 111-125.

Este artículo está sujeto a una [licencia “Creative Commons Reconocimiento-No Comercial” \(CC-BY-NC\)](#).

DOI: <https://doi.org/10.24197/trim.17.2019.111-125>

Resumen: Se realiza una revisión de la usabilidad, impactos ambientales y costos que han reportado en investigaciones previas sobre el uso de los vehículos de motor de combustión interna, eléctrico a baterías e híbridos. Inicialmente se revisa su desarrollo y evaluaciones hechas por distintos grupos de investigadores. Puede observarse como en el tiempo se van añadiendo ventajas al uso de los vehículos eléctricos sobre los de combustión interna. En cuanto a los vehículos de combustión interna se observan ventajas en el uso de diésel con respecto a la gasolina.

Palabras clave: Cambio climático, impacto ambiental, usabilidad, vehículo de combustión interna, vehículo eléctrico a batería, vehículo híbrido.

Abstract: A review of the usability, environmental impacts and costs that have been reported in previous research on the use of vehicles of the internal combustion engine, electric batteries and hybrids is carried out. Initially, its development and evaluations made by different groups of researchers are reviewed. It can be seen how over time advantages are added to the use of electric vehicles over internal combustion. As regards internal combustion vehicles, advantages are observed in the use of diesel with respect to gasoline.

Keywords: climate change, environmental impacts, usability, internal combustion vehicle, battery electric vehicle, hybrid vehicle.

INTRODUCCIÓN

Los vehículos tienen una presencia importante en las actividades humanas, según Sperling y Gordon (2009) “hoy en día hay más de mil millones de vehículos en el mundo y, dentro de 20 años, el número se duplicará, en gran parte como consecuencia del crecimiento explosivo de China e India” (Traducción libre del autor). Un alto porcentaje de estos vehículos son de combustión interna y parece que esa tendencia se mantendrá, de acuerdo a Mayersohn (2017), del New York Times, en la entrevista realiza a John Heywood, profesor de ingeniería mecánica en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT). Este predice que en 2050, el 60% de los vehículos livianos todavía tendrán motores de combustión que, a menudo, trabajaran con sistemas híbridos y estarán equipados con un turbocompresor. Adicionalmente, estima que los vehículos eléctricos a baterías representarán el 15% de las ventas.

Actualmente en el mercado existen vehículos de pasajeros con motores de combustión interna, eléctrico a baterías e híbrido. A su vez, los de combustión interna existen en base a diésel o gasolina. El híbrido posee dos (2) motores, uno de combustión y otro eléctrico a batería, que se recarga con el movimiento del vehículo, a diferencia del eléctrico que lo hace a través de estaciones de carga. La eficiencia de un motor depende del ciclo termodinámico elegido, los parámetros de funcionamiento (relación de compresión) y las pérdidas térmicas, mecánicas (de fricción) y de flujo (de admisión y de escape), así como las debidas a los accesorios necesarios para su funcionamiento, el ventilador de refrigeración, alternador, compresor de aire acondicionado y las bombas de inyección (en el caso del diésel), refrigeración y aceite, entre otros accesorios (Aversa et al., 2017). Sin embargo, la eficiencia del vehículo está asociada con su usabilidad, según la norma ISO-9421 (2018). Adicionalmente, los costos de inversión y de mantenimiento y las emisiones de CO₂ y otros efectos ambientales, han impulsado la tendencia al uso de tecnologías de vehículos eléctricos e híbridos sobre los de combustión.

La tendencia del uso de vehículos que incluyan motores eléctricos sobre el tradicional de combustión se ha visto reflejada en los trabajos de diversos investigadores de manera cronológica. En este sentido, el presente artículo se realiza una revisión de la usabilidad, beneficios para el medio ambiente y costos que han reportado estas investigaciones sobre el uso de los vehículos. El mismo se encuentra estructurado en las

secciones dedicadas a describir el procedimiento utilizado para realizar la comparación, una breve reseña sobre la tecnología de los motores de combustión y eléctrico utilizados en los vehículos hasta presentar, de manera cronológica, los resultados de las investigaciones realizadas en este tema. Finalmente, se incluye un resumen en cuanto a los aspectos de usabilidad, impactos ambientales y costos de estos vehículos.

1. PROCEDIMIENTO

Se revisa la literatura existente sobre los orígenes de las tecnologías de vehículos de combustión interna y eléctrico a baterías, así como los diferentes modelos que existen entre ambas clasificaciones. Seguidamente se verifica cómo funcionan y ventajas y desventajas que presentan los distintos autores al explicar la tecnología. Finalmente, se revisan estudios comparativos entre los distintos tipos de vehículos, en especial aquellos donde hay un uso en un período de tiempo o un acercamiento a sus usuarios. Entendiendo el concepto de usabilidad de acuerdo a la norma ISO-9241 (International Standards Organization, 2018) que la define como el grado en que un sistema, producto o servicio puede ser utilizado por determinados usuarios para conseguir objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso.

2. RESULTADOS

De acuerdo a Teodorović & Janić (2017), con respecto al tipo de combustible/energía utilizada, los vehículos de pasajeros generalmente se clasifican en tres (3) categorías:

1. Vehículo convencional de motor de combustión interna (MCI) que usa gasolina o diésel.
2. Vehículo eléctrico de batería propulsado por motores eléctricos. Éste utiliza la energía eléctrica almacenada en las baterías a bordo que se recargan en la red eléctrica (en casa, en la calle o en estaciones de carga).
3. Vehículo híbrido alimentado por gasolina convencional o diésel para MCI. Además, cuenta con un motor eléctrico que utiliza energía de las baterías a bordo y que se recargan al usar el motor de combustión interna.

2.1. Motor de combustión interna y el Eléctrico

El MCI es aquel que la mezcla carburante se quema dentro del cilindro para producir el trabajo mecánico. La energía primaria es química, la cual está contenida en forma potencial en el combustible. La ignición del combustible y del aire se origina por una chispa eléctrica en los motores a gasolina y por autoignición en los diésel (Gilardi, 1985). Estos tienen su origen en el año de 1859, de la mano de Joseph Etienne Lenoir, quien diseña el primer MCI, de un solo pistón y tiempo, con combustión a ambos lados del pistón. Era movido por gas de carbón mezclado por aire. A partir de allí, Nikolaus August Otto en 1876 construye el primer motor de cuatro (4) tiempos, mientras que entre 1893 y 1898 el ingeniero alemán Rudolpf Diesel fabrica el motor que lleva su nombre (Gaviria-Ríos, Mora-Guzmán, & Agudelo, 2002). Aunque existen mejoras en este motor, no ha sido mucho lo que se ha logrado. Según Gaviria et al (Op. Cit) “es interesante ver como en los MCI, que llevan aproximadamente 125 años desde su invención, no se haya logrado grandes mejoras en su rendimiento (de 11 a máximo 30% para motores de encendido por chispa) a pesar de los avances y desarrollos tecnológicos que existen hoy en día”.

De acuerdo a la Sociedad de Técnicos de Automoción (2011) “el vehículo eléctrico no es una novedad dentro de la dilatada vida del automóvil. Si se echa la vista atrás, hubo un período en la historia que el motor eléctrico, el motor de combustión y el motor de vapor estaban a un nivel de prestaciones semejantes, compitiendo cada cual por ser el ganador en la carrera para la propulsión”. Conforme a lo escrito por Moreno (2016) “los vehículos eléctricos se inventaron en la primera mitad del siglo XIX, mucho antes que los vehículos con motores de gasolina y diésel. Posiblemente el primer prototipo lo construye el húngaro Ányos Jedlik en 1828. Era un modelo de pequeño tamaño movido por un motor eléctrico inventado por él mismo”. Posteriormente, en 1898 se construyeron y comercializaron los primeros modelos de vehículos eléctricos que circularon por las calles de Londres y Nueva York. Los motores eran de corriente continua, conectados a unas baterías que se podían conectar en serie y en paralelo en varias configuraciones, controlando así la velocidad y el par (Op cit).

Los vehículos híbridos se crearon como resultado de la modificación que hizo Porsche al *Tojours Contente* de 1900, los cuales poseen cuatro (4) motores eléctricos en los bujes de cada rueda. Ferdinand Porsche le

coloca un motor de combustión interna para cargar las baterías y lo bautiza como *Mixte*, logrando producir aproximadamente 300 unidades de este modelo (Sociedad de Técnicos de Automoción, 2011). Sin embargo, a principios del siglo XX, la balanza se inclina por el vehículo de MCI por dos (2) elementos fundamentales: el precio y la autonomía. Moreno (2016) indica que “en la década de los 1920 un coche eléctrico costaba unos 2.000 USD y tenía una autonomía de 25 km. Su equivalente de gasolina de costaba unos 600 USD con autonomía prácticamente ilimitada.” Esto representa el punto de corte a partir del momento que se extiende el uso de los motores de combustión.

El cambio climático y las políticas para contribuir con su mitigación (Agency, 2018) (BMW, 2018) (Bermejo, 2013) han acelerado el desarrollo de la tecnología de los vehículos eléctricos. Como indica Chan & Wong (2004) referente a los elementos ambientales, los vehículos eléctricos pueden proveer transporte urbano de bajas emisiones, inclusive considerando las de las plantas de generación de electricidad, necesarias para recargar los vehículos. En este sentido, su uso reduce significativamente la contaminación del aire a nivel global. Desde el punto de vista energético, ofrecen una opción segura, comprensiva y balanceada que es eficiente y amigable con el medio ambiente.

Existe una variedad especial de vehículos eléctricos llamados de celdas de combustibles (*Fuel Cell*, en inglés), su característica principal es que la energía eléctrica proviene de una celda de combustible. Ésta es una celda galvánica en la que la energía química de un combustible se convierte directamente en energía eléctrica por medio de procesos electroquímicos. El combustible y el agente oxidante se suministran de forma continua y por separado a los dos (2) electrodos de la celda, donde experimentan una reacción, según Ehsani et al. (2018). En comparación con una batería química, la celda de combustible genera energía eléctrica en lugar de almacenarla y continúa haciéndolo mientras se mantenga el suministro.

En comparación con el vehículo eléctrico, el de celdas combustibles tiene las ventajas de un rango de conducción mayor sin un largo tiempo de carga de la batería. Adicionalmente, con respecto al de MCI, tiene las ventajas de una mayor eficiencia energética y menores emisiones debido a la conversión directa de energía libre en el combustible en energía eléctrica, sin sufrir combustión (Ehsani et al., 2018).

Entre el vehículo con MCI existen diferencias significativas entre los distintos combustibles utilizados. Comparando únicamente el de gasolina

con el de diésel, existen diferencias como las notadas por Fairbanks (2004). Por ejemplo, comparando los vehículos Dodge Durango y Dodge, encuentra que las versiones que utilizan diésel tiene un mejor rendimiento de mi/galón, de 60 y 61%, respectivamente. Asimismo, la reducción de las emisiones de CO₂ para las versiones en diésel son 27 y 28%, respectivamente, para cada modelo de vehículo. Similarmente, compara el Ferrari Enzo (con un motor a gasolina de 12 cilindros impulsado) con el Sidewinder Banks (con un motor diésel de 6 cilindros) en cuanto a los criterios de máxima velocidad y economía de uso de combustible. Encuentra que el Enzo tiene una velocidad máxima estimada de 217 mph, con un rendimiento de combustible de 8 a 12 mi/galón. Por otro lado, el Sidewinder tiene una velocidad máxima medida de 222,14 mph y un rendimiento de combustible de 21,2 mi/galón.

2.2. Vehículo de motor de combustión interna y el Eléctrico

Para comparar las ventajas y desventajas entre el vehículo de MCI y el eléctrico se revisa la bibliografía existente, de manera cronológica, sobre la experiencia de uso de ambos tipos y se compararán las de diversos grupos de investigación.

Lave & MacLean (2002) comparan “la segunda generación del primer vehículo eléctrico híbrido comercial (HEV, por sus siglas en inglés), el *Toyota Prius*, con el motor de combustión interna convencional (ICE, por sus siglas en inglés) y *Toyota Corolla*. El *Prius*, más complicado y costoso, tiene menos contaminantes y emisiones de CO₂ y una mejor economía de combustible que el *Corolla*. Sin embargo, para el momento no era económicamente viable porque la tecnología no reducía comparativamente con respecto al costo adicional de la compra del vehículo híbrido. Esto cambia con el tiempo, dado que se disminuyen los costos de fabricación, los de los combustibles fósiles aumentaron y se desarrollaron nuevas tecnologías.

Así como existen diferencias en los MCI, en los vehículos impulsados por motores eléctricos existen diversas tecnologías, que pueden verse resumidas en la Tabla 1, desarrollada por Chan & Wong (2004).

Tabla 1. Características de vehículos eléctricos de baterías, híbridos y de celdas de combustible. Fuente: Elaborado por el autor con datos de Chan & Wong (2004)

Tipo de vehículo	Vehículo eléctrico a Baterías	Vehículo híbrido	Vehículo eléctrico a celdas combustibles
Propulsión	- Motor eléctrico	- Motor eléctrico - Motor de combustión interna	- Motor eléctrico
Sistema de energía	- Baterías - Ultracapacitores	- Baterías - Ultracapacitores - Generador de motor de combustión interna	- Celdas de Combustible
Fuente de energía e infraestructura	- Instalaciones de carga conectadas a la red de distribución eléctrica	-Estaciones de combustible -Instalaciones de carga (opcional)	- Hidrógeno - Metanol o gasolina - Etanol
Características	- Cero (0) emisiones atribuidas a su uso. En este caso hay que adicionarles las utilizadas para su fabricación y las debidas a las fuentes de generación - Independencia de combustibles fósiles - Rango de uso 100 a 200 km - Costo inicial elevado - Comercialmente disponible	- Bajas emisiones -Rango largo de uso - Dependencia de combustibles fósiles - Complejos - Comercialmente disponible	- Bajas emisiones atribuidas a su uso. En este caso hay que adicionarles las utilizadas para su fabricación y las debidas a las fuentes de generación. - Alta eficiencia energética - Independencia de combustibles fósiles - Rango de uso satisfactorio - Altos costos - Aún en desarrollo
Problemas principales	- Manejo de las baterías y su disposición final - Propulsión de alto rendimiento - Disponibilidad de instalaciones de carga	- Manejo de múltiples fuentes de energía - Dependiente del ciclo de manejo - Dimensionamiento de la batería y manejo de la misma	- Costo de la celda de combustible - Procesador de combustible - Sistema de carga de combustible

Granovskii, Dincer, & Rosen (2006) realizan una comparación económica y ambiental sobre cuatro (4) tipos de vehículos: convencional, híbrido, celda de combustible y de hidrógeno, obteniendo que el vehículo híbrido y eléctrico tienen ventajas sobre los demás. Sin embargo, el impacto económico y ambiental asociado con el uso de un vehículo eléctrico depende sustancialmente de generación de energía eléctrica. Si ésta proviene de fuentes de energía renovable, el vehículo es ventajoso ante el híbrido. De caso contrario, el vehículo híbrido seguirá siendo competitivo ya que es propia la fuente de generación de la energía eléctrica. Estas fueron las conclusiones en el 2005, sin embargo, se verifica estudios realizados recientemente para comprobar si los resultados y conclusiones se mantienen en el tiempo. Por ejemplo, Gustafsson & Johansson (2015) en Suecia concluyen similarmente que a pesar los vehículos eléctricos a batería han sido vistos durante mucho tiempo como una solución si la fuente es renovables, pero aun así sufren altos costos e impactos ambientales por la deposición de las batería.

Howey, Martinez-Botas, Cussons, & Lytton (2011) compararon 51 vehículos entre los cuales existían eléctricos, híbridos y de MCI respecto a dos (2) criterios: consumo de energía y emisiones de CO₂. Respecto al consumo de energía, los que consumieron menos fueron los híbridos, seguidos por los eléctricos y, finalmente, los de combustión interna. Sin embargo, comparando las emisiones de CO₂ tomadas del escape de los vehículos de MCI e híbridos, así como las debidas a las fuentes de generación en el Reino Unido, que se muestran en la Tabla 2. Observándose que incluso las emisiones de CO₂ de los vehículos de MCI con diésel y los eléctricos son semejantes, dependiendo por supuesto de la emisiones debidas a la fuente de generación.

Tabla 2. Emisiones de CO₂ por tipo de vehículo en el Reino Unido

Vehículo	Emisiones de CO ₂ (gCO ₂ /km)
Híbridos	Menos de 70
Eléctrico*	70 y 110
MCI de diésel	80
MCI de gasolina	Más de 110

* Asumiendo una generación de 542 gCO₂/kWh

Es importante destacar que durante la revisión se encuentra el caso particular de Castaño (2016), que es digno de mencionar por lo

particular, ya que describe “una prueba real de circulación por las carreteras de Galicia de un vehículo eléctrico con autonomía extendida (*Range Extender*, REX) durante 11 meses y 24.590 km. A diferencia de otros, éste (un BMWi3) no es un híbrido porque su motor es 100% eléctrico y su respaldo de combustión interna sólo funciona para recargar las baterías, pero no para impulsarlo. Resumiendo sus resultados tenemos: la recarga fue privada ya que no están disponibles puntos públicos, la carga completa es larga (entre 5 y 6 horas) y el vehículo presenta menos averías, en comparación con la experiencia con él de MCI. Finalmente, la conducción es más confortable debido a la ausencia de ruido de motor, cambio de velocidades y grupo térmico de respaldo REX es recomendable para realizar una conducción interurbana normal (sin stress de la batería), ya que existe una ausencia casi total de puntos de recarga pública. “Excelente solución práctica para la transición desde el vehículo convencional al eléctrico puro” (Castaño, 2016).

Figenbaum & Kolbenstvedt (2016) realizaron una encuesta en Noruega a los propietarios de vehículos, obteniendo respuesta de 3.111, 2.065 y 3.080 propietarios de eléctricos a batería, híbridos y de MCI, respectivamente. En dicha encuesta obtienen los siguientes comentarios respecto del uso de los vehículos, tales como que los propietarios de vehículos eléctricos en algunos casos han tenido que evitar un viaje debido a que el rango de las baterías es corto, con respecto a la distancia del viaje, y la insuficiencia de estaciones de recarga en el camino. Sin embargo, el 83% comenta que no ha tenido que hacerlo. Otro reto del uso de este vehículo es el bajo nivel de ruido, por lo que se han generado situaciones que peatones, ciclistas o niños no han advertido del riesgo de su paso. Los vehículos eléctricos de baterías son más atractivos a los consumidores por el precio y las ventajas en cuanto a reducción de impuestos, con respecto a los otros. Otra característica en los modelos estudiados es el tamaño, ya que son más compactos que los vehículos híbridos, que pueden llegar a ser hasta modelos deportivos utilitarios (SUV, por sus siglas en inglés), mientras que los de MCI están disponibles de cualquier tamaño.

Correa, Muñoz, Falaguerra, & Rodríguez (2017) realizaron una comparación en autobuses de cinco (5) tipos distintos de tecnologías de vehículos: eléctricos de batería, gas natural comprimido y enriquecido con hidrógeno, eléctricos híbridos con celdas de combustible, híbridos y de MCI. Para la comparación utilizaron dos (2) ciclos de conducción y cuatro (4) rangos de distancia. Los resultados confirman que los

vehículos eléctricos con batería son convenientes sólo para un rango de conducción corto, mientras que los autobuses con celdas de combustible ofrecen buenos rendimientos para un rango de conducción más extenso (Op. Cit).

Qiao, Zhao, Liu, Jiang, & Hao (2017) analizan el impacto y la generación de gases de efecto invernadero (GEI) desde la fabricación de los vehículos, comparando los eléctricos de baterías con los de MCI. Sorprendentemente para China se obtiene que comparativamente, los valores para un vehículo eléctrico sean aproximadamente un 50% más altos que los de MCI. Los resultados se analizan desde los puntos de vista de cada componente, material y fuente de energía. Considerando los componentes, las baterías de iones de litio incurren en casi el 13% del consumo total de energía y el 20% de las emisiones totales de GEI de la producción de BEV. Desde el punto de vista de los materiales, el acero, el aluminio y los materiales activos producen aproximadamente el 60, 10 y 7% del consumo total de energía y el 50, 17 y 11% de las emisiones totales de GEI, respectivamente. Cuando se trata de fuentes de energía, el carbón, el coque, la electricidad y el gas natural representan alrededor del 36, 16, 10 y 30% del consumo total de energía. Sin embargo, estos resultados reflejan el alto impacto energético de manufactura en China, ya que estos determinaron que fabricar la misma cantidad de baterías en USA genera sólo un tercio de GEI. Asimismo, no existe una política de reciclado de vehículos o recuperación de las partes. Finalmente, la generación eléctrica en China está basado en combustibles fósiles, principalmente carbón, por lo que cualquier consumo de energía eléctrica impacta directamente en la generación de más contaminantes y CO₂.

Finalmente, la Tabla 3 muestra una comparación en cuanto a los tres (3) aspectos de usabilidad, impacto ambiental y costo relacionados con la adquisición del vehículo, su mantenimiento y los gastos debidos al consumo de combustible y energía eléctrica.

Tabla 3. Comparación de los vehículos de MCI, eléctrico e híbrido

Tipo de vehículo	Usabilidad	Impacto ambiental	Costos
MCI con diésel o gasolina	Las estaciones de servicio son frecuentes de encontrar, es decir, poseen autonomía ilimitada. Presentan ruidos durante su conducción.	Mayores impactos ambientales asociados a las emisiones de CO ₂ , gases contaminantes y partículas propias del combustible utilizado. Dependiendo de las fuentes de generación del país, las emisiones de CO ₂ con el uso del diésel como tipo de combustibles, son comparables con los eléctricos	Menores costos de adquisición. Mayores costos de mantenimiento, por la reposición de autopartes. Costo de operación por la compra o adquisición de los combustibles
Eléctrico a baterías	Ausencia de ruido y mayor confort en su conducción. Necesidad de cargas entre cada 5 a 6 horas, lo que lo hacen dependiente de la presencia de los centros de carga. Es decir, poseen autonomía limitada.	Durante su utilización sus emisiones de CO ₂ son cero (0). Se le deben asociar las emisiones producto de la fabricación, las relacionadas con las fuentes de generación por la carga de las baterías y por su disposición final.	Costos de adquisición superior a los MCI. Menores costos de mantenimiento. Menores costos de adquisición del combustible, comparativamente con los MCI. Costos debidos a la energía eléctrica utilizada para la carga de las baterías
Híbrido	Ausencia de ruido y mayor confort en su conducción. Sin necesidad de centros de carga de las baterías.	Durante su utilización sólo reportan emisiones en función del tipo de combustible que utiliza el MCI. Se le deben asociar las emisiones producto de la fabricación y por su disposición final. No se le asocian emisiones producto de la carga de las baterías ya que la misma es propia del vehículo	Aún los costos de adquisición son elevados. Sin embargo, la exoneración o subsidios de pagos de impuestos podría mejorar esta situación. Incluir el costo de la compra de energía eléctrica para su recarga

CONCLUSIONES

En general, los vehículos eléctricos superan a los vehículos de combustión interna respecto a los beneficios para el medio ambiente. Sin embargo, la usabilidad de los primeros se ve afectada por el corto rango de distancia que pueden viajar los vehículos a baterías comparados con los vehículos híbridos o de combustión interna. En cuanto a los vehículos de combustión interna, se observan ventajas en el uso de diésel con respecto a la gasolina, tanto en eficiencia del motor como de generación de contaminantes. En cuanto al atractivo para los usuarios, depende de las políticas económicas de cada país, siendo importante los incentivos en cuanto a reducción de impuestos para vehículos que tengan un menor impacto en el medio ambiente.

Aparte de las condiciones del vehículo, es importante que la generación de electricidad sea sustentable y ambientalmente amigable, para que en realidad pueda obtenerse el efecto deseado de reducción de efecto invernadero. Igualmente, los procesos de fabricación de los vehículos deben ser revisados para que sean eficientes y con el menor impacto sobre el medio ambiente. Finalmente, es necesaria la instalación de redes de estaciones de carga para facilitar el proceso de carga de los vehículos eléctricos, ya que es un punto clave que pudiese mejorar la aceptación por parte de los usuarios.

La tecnología de celdas de combustible no está todavía disponible para todos los usuarios y su alto costo hace que quede como una opción a futuro, una vez que sea más accesible y comercialmente atractiva.

AGRADECIMIENTO

Los autores de este artículo quieren agradecer al Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), ya que el mismo fue elaborado en el marco del proyecto Red Iberoamericana de Transporte y Movilidad Urbana Sostenible (RITMUS, 718RT0566).

BIBLIOGRAFÍA

- Aversa, Raffaella; Petrescu, Rely Victoria; Akash, B.; Bucinell, Ronald; Corchado, Juan; Chen, Guanying; Li, Shuhui; Apicella, Antonio; Petrescu, Floiran Ion (2017), "Something About the Balancing of Thermal Motors", *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10, pp. 200-217, DOI: 10.3844/ajeassp.2017.200.217, en <https://papers.ssrn.com/abstract=3074082>
- Castaño, Francisco Silva (2016), "Conducción, en condiciones reales de Galicia, de un Vehículo Eléctrico con autonomía extendida (REX)". *Dínamo técnica: revista gallega de energía*, 19, pp. 12–15, en
- Chan, Ching Chuen, & Wong, Y. S. (2004), "Electric vehicles charge forward", *IEEE Power and Energy Magazine*, 2, pp. 24-33. DOI: <https://doi.org/10.1109/MPAE.2004.1359010>
- Correa, Gabriel; Muñoz, Pedro; Falaguerra, T; Rodríguez, CR (2017), "Performance comparison of conventional, hybrid, hydrogen and electric urban buses using well to wheel analysis", *Energy*, 141, pp. 537-549, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.09.066>
- Ehsani, Mehrdad; Gao, Yimin; Longo, Stefano; Ebrahimi, Kambiz (2018), "Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles", Boca Raton, Taylor&Francis Group
- Fairbanks, John (2004), "Engine maturity, efficiency, and potential improvements", *Diesel Engine Emission Reduction Conference*. Presentado en Energy Efficiency and Renewable Energy, Coronado, California.
- Figenbaum, Erik y Kolbenstvedt, Marika (2016), "Learning from Norwegian Battery Electric and Plug-in Hybrid Vehicle users: Results from a survey of vehicle owners", *TØI Report (1492/2016)*, en <https://trid.trb.org/view/1420780>
- Gaviria-Ríos, Jorge Enrique, Mora-Guzmán, Jorge Hernán; Agudelo, John Ramiro (2002), "Historia de los motores de combustión interna", *Revista Facultad de Ingeniería*, 26, pp. 68-78, en

<http://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/ingenieria/articulo/view/326361>

- Gilardi, Jaime (1985), "Motores de combustión interna", Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura, San José, Costa Rica.
- Granovskii, Mikhail, Dincer, Ibrahim; Rosen, Marc (2006), "Economic and environmental comparison of conventional, hybrid, electric and hydrogen fuel cell vehicles", *Journal of Power Sources*, 159, pp. 1186-1193, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2005.11.086>
- Gustafsson, Tobias; Johansson, Anders (2015), "Comparison between battery electric vehicles and internal combustion engine vehicles fueled by electrofuels (Chalmers Tekniska Högskola)", en <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/218621/218621.pdf>
- Howey, David; Martínez-Botas, Ricardo; Cussons, Ben; Lytton, uca (2011), "Comparative measurements of the energy consumption of 51 electric, hybrid and internal combustion engine vehicles" *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16, pp. 459-464, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2011.04.001>
- International Standards Organization. Ergonomics of human-system interaction -- Part 11: Usability: Definitions and concepts. , ISO 9241-11:2018 § (2018).
- Lave, Lester; MacLean, Heather (2002), "An environmental-economic evaluation of hybrid electric vehicles: Toyota's Prius vs. its conventional internal combustion engine Corolla" *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 7, pp. 155-162, DOI: [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(01\)00014-1](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(01)00014-1)
- Mayersohn (2017), The Internal Combustion Engine Is Not Dead Yet. *The New York Times*, en <https://www.nytimes.com/2017/08/17/automobiles/wheels/internal-combustion-engine.html> (22/12/2017)

- Moreno, Francisco (2016), "Vehículos Eléctricos. Historia, Estado Actual y Retos Futuros", *European Scientific Journal ESJ*, 12, DOI: <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n10p0p>
- Qiao, Qinyu; Zhao, Fuquan; Liu, Zongwei; Jiang, Shuhua; Hao, Han (2017), "Cradle-to-gate greenhouse gas emissions of battery electric and internal combustion engine vehicles in China", *Applied Energy*, 204, pp. 1399-1411, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.041>
- Sperling, Daniel; Gordon, Deborah (2010), *Two Billion Cars: Driving Toward Sustainability*, Oxford University Press, USA.
- Teodorović, Dusan; Janić, Milan (2017), *Transportation Engineering. Theory, Practice and Modeling*, pp. 719-858, DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803818-5.00011-1>