



Ciencia e Ingeniería
ISSN: 1316-7081
ISSN: 2244-8780
revecien@ula.ve
Universidad de los Andes
Venezuela

Pre-factibilidad de tecnologías de propulsión aplicables al transporte vehicular particular en Venezuela

Colmenares Piñero, Jesús; Contreras Cordero, Francisco José; Guzmán Arguís, Víctor Manuel; Romero Quintini, Juan Carlos

Pre-factibilidad de tecnologías de propulsión aplicables al transporte vehicular particular en Venezuela

Ciencia e Ingeniería, vol. 40, núm. 3, 2019

Universidad de los Andes, Venezuela

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=507567854002>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Internacional.

Pre-factibilidad de tecnologías de propulsión aplicables al transporte vehicular particular en Venezuela

Pre-feasibility of propulsion technologies applicable to the auto-mobile private transport in Venezuela

Jesús Colmenares Piñero¹
Universidad Simón Bolívar, Venezuela
14-10233@usb.ve

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=507567854002>

Francisco José Contreras Cordero¹
Universidad Simón Bolívar, Venezuela
contreras.francisco@outlook.com

Víctor Manuel Guzmán Argüis²
Universidad Simón Bolívar, Venezuela
vguzman@usb.ve

Juan Carlos Romero Quintini^{1*}
Universidad Simón Bolívar, Venezuela
juanromero@usb.ve

Recepción: 13 Febrero 2019

Aprobación: 20 Junio 2019

RESUMEN:

Motivado por el aumento de las emisiones de gases contaminantes provenientes del parque automotor urbano, la eventual crisis energética generada por la creciente demanda de combustibles fósiles no renovables, y la situación de uso extensivo de transporte particular a gasolina en Venezuela, el objetivo en el presente trabajo es evaluar la posible aplicación de distintas tecnologías de propulsión al sistema de transporte particular en Venezuela, que representen posibles mejoras de eficiencia y sustentabilidad. Cada país tiene realidades energéticas, geográficas, ambientales, económicas, sociales y de infraestructura diferentes, por eso las soluciones aplicadas para mejorar la sustentabilidad del sistema de transporte pueden ser distintas. Este trabajo se inicia con una investigación de las plataformas automotrices para transporte particular existentes a nivel mundial, alternativas al vehículo de combustión interna de gasolina. Luego se limita el estudio a las plataformas que más se adaptan a la realidad de Venezuela. Posteriormente se establece una serie de criterios técnicos, ambientales y económicos con el propósito de lograr una comparación amplia entre las plataformas. Se estima la eficiencia energética Pozo a Rueda ("Well-To-Wheels"), las emisiones de CO₂ involucradas en el funcionamiento, el costo inicial, el costo operativo, la autonomía y un análisis de final de vida, para cada plataforma. Luego se realiza una comparación global mediante un proceso de normalización de indicadores; proceso que arroja un puntaje que indica cuán cerca está cada plataforma de ser una plataforma de propulsión para transporte vehicular particular con mayores ventajas para nuestro país. El trabajo cierra con un estudio de pre-factibilidad económica cuyos resultados muestran que se deben continuar proyectos de implementación de vehículos eléctricos o híbridos en Venezuela.

PALABRAS CLAVE: Vehículo, transporte, sustentable, eficiente, Venezuela.

ABSTRACT:

NOTAS DE AUTOR

¹ Departamento de Mecánica, Universidad Simón Bolívar, Caracas, 1080-A, Venezuela.

¹ Departamento de Mecánica, Universidad Simón Bolívar, Caracas, 1080-A, Venezuela.

² Departamento de Electrónica y Circuitos, Universidad Simón Bolívar, Caracas, 1080-A, Venezuela.

¹ Departamento de Mecánica, Universidad Simón Bolívar, Caracas, 1080-A, Venezuela.

* juanromero@usb.ve

Motivated by the rise in greenhouse gas emissions from urban vehicle fleet, the possible energy crisis caused by the demand for non-renewable fossil fuels, and the extensive use of gasoline automobile private transport in Venezuela, the objective of this work is to evaluate the possible application of different propulsion technologies representing improvements of efficiency and sustainability for the automobile private transportation system in Venezuela. Every country has different energetic, geographical, environmental, economic, social and infrastructural realities; therefore the solutions applied to improve the sustainability of the transportation system may be different. This work begins with an investigation of worldwide existing automotive platforms for private transportation which are alternatives to gasoline internal combustion vehicles. Then the study is limited to platforms that best adapt to the current infrastructure in Venezuela. Then a series of technical, environmental and economic criteria are established in order to achieve a comprehensive comparison between platforms. "Well-to-Wheels" energy efficiency, CO₂ involved in the operation, initial costs, operating costs, autonomy and End-of-life analysis are estimated for each platform. An overall comparison is made through a process of normalization of the previously defined criteria. This yields a score that indicates how close each platform is to a propulsion platform for automobile private transportation with major advantages for Venezuela. Finally an economic pre-feasibility study shows that implementation of electric or hybrid vehicles projects for Venezuela must continue.

KEYWORDS: Vehicle, transportation, sustainable, efficient, Venezuela.

1 INTRODUCCIÓN

Existe gran preocupación a nivel mundial con respecto a los efectos que la emisión de gases contaminantes genera sobre el medio ambiente. Aproximadamente 30% de estos gases provienen del sistema de transporte (Ehsani y col., 2005). Además, se vislumbra a mediano plazo una crisis energética debido a la creciente demanda y dependencia de combustibles fósiles y la disponibilidad limitada de estos (Evans 2007). Por dichas razones se están desarrollando y evaluando a nivel mundial tecnologías de propulsión alternativas para los vehículos de transporte terrestre, que representen soluciones sustentables ante dichos problemas. Esto ha resultado en una gran variedad de sistemas de propulsión. Algunos han sido aplicados a nivel comercial, otros sólo han sido estudiados en laboratorios (Ehsani y col., 2005). Cada país del mundo posee realidades energéticas, geográficas, ambientales, económicas y de infraestructura diferentes. Por ello es lógico pensar que las soluciones aplicadas para mejorar la sustentabilidad del sistema de transporte pueden ser distintas en cada país.

El transporte con vehículos particulares está creciendo en gran proporción y así su participación en la cuota de emisiones contaminantes (Guzzella y col., 2007). El presente trabajo consta de una investigación y una comparación de las diferentes tecnologías de propulsión de vehículos particulares. El objetivo es evaluar la posible aplicación de las nuevas tecnologías de propulsión al sistema de transporte en Venezuela. Con esto se pretende desarrollar una propuesta preliminar para mejorar a corto y mediano plazo el sistema de transporte particular en Venezuela, que responda a las necesidades y consideraciones energéticas y ambientales del mundo. Este estudio representa una actualización o evolución al realizado por primera vez para Venezuela por Romero y col., 2018.

2 SELECCIÓN DE PLATAFORMAS ESPECÍFICAS A ESTUDIAR

A continuación se definen las distintas plataformas que serán objeto de estudio en el presente trabajo. La Fig. 1 muestra la plataforma convencional. Los elementos principales de esta plataforma son el tanque de combustible, el Motor de Combustión Interna (MCI), la transmisión y las ruedas. El combustible puede ser gasolina, etanol, diesel o gas. El Vehículo Eléctrico de Batería (VEB) es una plataforma alternativa impulsada por un motor eléctrico alimentado por baterías (ver Fig. 2). El Vehículo Híbrido Eléctrico (VHE) es más complejo en el manejo de energía. Representa una combinación entre la plataforma convencional y la plataforma eléctrica de baterías (ver Fig. 3). Esquemas específicos y más detallados de aplicaciones de plataformas eléctricas e híbridas eléctricas se presentan en (Ehsani y col., 2005, Guzzella y col., 2007, Husain 2005, Emadi 2005, Romero-Quintini 2009).

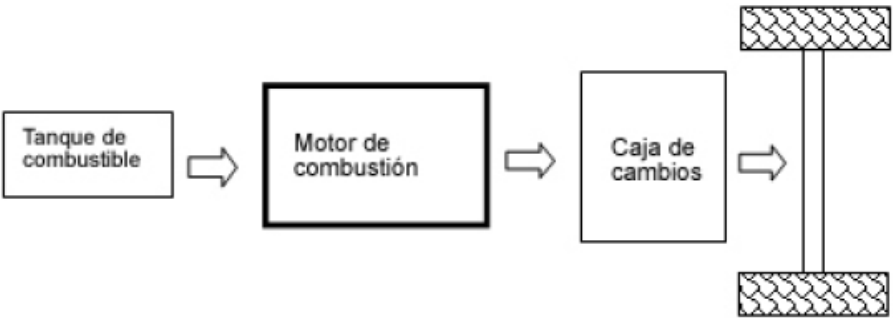


FIG. 1
Esquema de Vehículo con MCI (VCI)

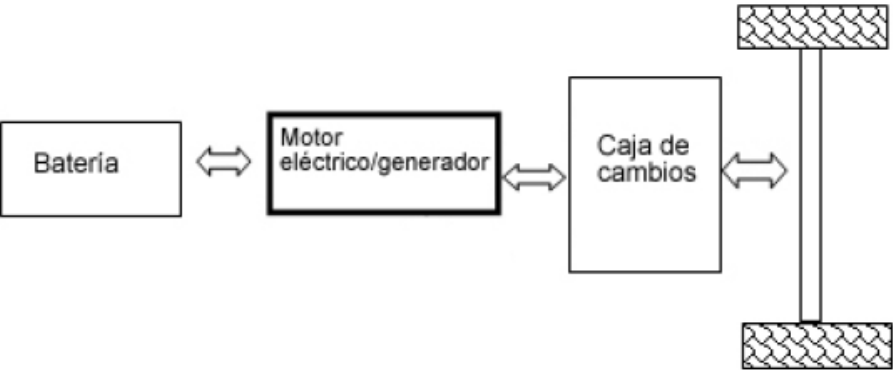


FIG. 2
Esquema de VEB

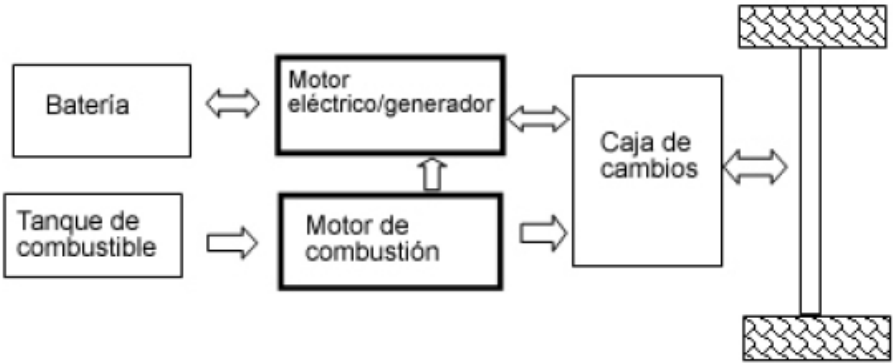


FIG. 3
Esquema de VHE

TABLA 1
Plataformas alternativas posibles y modelos representativos

Tipo de Vehículo	Fuente de energía	Nivel de Aplicación	Modelo representativo
VCI	Gasolina	Comercial	Honda Civic
	Etanol	Comercial	Chevrolet Malibú
	Diesel	Comercial	Volkswagen Jetta
	Hidrógeno	Prototipos	Ford Focus
	Gas	Comercial	Honda Civic CNG
VEB	Electricidad	Prototipos y comercial	Nissan Leaf
	Electricidad Hidrógeno	Prototipos y comercial	Honda FCX
VHE	Gasolina	Prototipos y comercial	Toyota Prius
	Gasolina + Electricidad	Prototipos y comercial	Toyota Prius Plug-in
	Etanol	Prototipos	Saab 9-3
	Diesel + Electricidad	Prototipos	Volvo V60 Plug-in
	Gas	Prototipos	Camry CNG Hybrid

(En sombreado las plataformas seleccionadas para estudio comparativo)

Se han planteado diversas combinaciones de fuentes de energía y trenes motrices como soluciones alternativas al Vehículo con MCI (VCI) convencional (Emadi 2005, Romero-Quintini 2009). La tabla 1 resumen las opciones visualizadas dentro de este estudio como posibles para analizar y comparar. La tabla presenta las tres plataformas básicas, con diferentes tipos de fuentes de energía, y define un modelo comercial representativo de cada opción. Algunas de las configuraciones se encuentran en niveles de desarrollo, por lo cual aún no se dispone de toda la información necesaria para un adecuado análisis comparativo de dichas plataformas. Esta investigación se limitará a comparar las plataformas de propulsión vehicular sombreadas en la tabla 1, por ser consideradas acordes a la realidad tecnológica actual y representar posibles opciones de corto y mediano plazo para el transporte vehicular particular de Venezuela. Cabe destacar que aquellos modelos de vehículos que en su nombre incluye el apartado “Plug-in” son VHE capaces de conectarse al sistema eléctrico para recargarse.

3 METODOLOGÍA

Se han realizado diversos estudios para evaluar el impacto energético y ambiental de VEB y otras plataformas como los Vehículos de Celdas de Combustible (VCC). Aunque los VEB y los VCC pueden no generar emisiones contaminantes en operación, hay emisiones asociadas con la producción y distribución del combustible (por ejemplo, electricidad e hidrógeno). Un estudio de los efectos ambientales y energéticos asociados a estos vehículos en comparación a los VCI, requiere un análisis completo del ciclo recorrido por el combustible. Se toma en cuenta la eficiencia de transformación de la materia prima (i.e. crudo a gasolina), el transporte del combustible desde el lugar de producción hasta los puntos de entrega al usuario, y finalmente la eficiencia del motor y transmisión (Guzzella y col., 2007, Husain 2005). En el campo del transporte este análisis se denomina “Pozo a Ruedas” (“Well-to-Wheels” o WTW). El presente trabajo utilizará este enfoque para evaluar y comparar las eficiencias y emisiones contaminantes de distintas plataformas vehiculares aplicadas a Venezuela. También, con la finalidad de establecer una comparación más amplia, se examina el costo inicial de los vehículos, los costos operativos, las implicaciones en cuanto a la infraestructura necesaria y el desempeño en autonomía de cada plataforma. Estos factores serán normalizados y ponderados para obtener un indicador global que sustente la comparación objetivo de este estudio.

4 RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación los resultados de la investigación sobre la posible aplicación de las plataformas de propulsión escogidas para el caso de estudio.

4.1 Análisis de fuentes de energía en Venezuela

Se analizará el caso de Venezuela respecto a las fuentes de energía. Como es bien sabido, Venezuela es un país con reservas importantes de petróleo, de hecho es uno de los países exportadores del mismo, y esta actividad representa la principal fuente de ingreso del país. Además cuenta con refinerías capaces de producir gasolina y diesel. En Venezuela la gasolina y el diesel se encuentran fuertemente subsidiados por el Estado, por lo cual resulta difícil establecer el verdadero precio o costo de cada litro de dichos productos dentro del país. Con motivo de establecer cifras representativas para este estudio, se toma un promedio de los precios de algunos países de América (Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Honduras, México, Panamá, Perú y Estados Unidos) (Centralamerica-data.com 2019, Globalpetrolprices.com 2019, Mytravel-cost.com 2018), estimando que Venezuela podría vender dicha gasolina o diesel a un precio promedio internacional (ver tabla 2), considerándose de relevo este precio, dado que los barriles que no se empleen en Venezuela podrán venderse en el exterior a tal monto. Se utilizará el dólar como moneda internacional de referencia en las consideraciones de este estudio, ya que esto facilita la comprensión de las implicaciones económicas de la aplicación de cada plataforma tanto en Venezuela como en otros países de la región.

En Venezuela el diesel es producido según la norma Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN 1998), la cual establece un contenido de azufre de 0,5%. Se deben revisar los parámetros de producción de diesel vehicular en el país para cumplir con los estándares internacionales (aproximadamente 0,05%). Por su parte, el gas natural se obtiene de pozos gasíferos o se extrae junto con la producción de petróleo crudo. El gas natural comprimido (CNG ó “Compressed Natural Gas”) o Gas Natural Vehicular (GNV) se almacena en general en un tanque a una presión de 3.000 a 3.600 libras por pulgada cuadrada (psi). En la actualidad en Venezuela se lleva a cabo una iniciativa de-nominada “Autogas”, proyecto que tiene como objetivo liberar combustible líquido (gasolinas) del mercado interno, a través de la construcción de puntos de expendio de GNV y la conversión de vehículos al sistema dual (gasolina-gas), que permitan el cambio

en el patrón de consumo de combustibles líquidos a gaseosos (PDVSA 2008, 2019). El GNV en Venezuela también se encuentra subsidiado, por esto se plantea establecer como precio de referencia el pro-medio entre los precios en Brasil y Colombia (Unidad de Planeación Minero Energética 2019) (ver tabla 2). Por otra parte, el etanol es un compuesto químico que puede utilizar-se como combustible, bien solo, o mezclado en cantidades variadas con gasolina. La tabla 2 muestra el precio promedio del etanol en Brasil y Estados Unidos (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2019, Tradingeconomics 2019). Hay que destacar que en Venezuela actualmente no hay producción de este combustible, por lo que el mismo deberá ser importado o se deberá realizar una inversión significativa en el país para así generar una cadena de producción de etanol que permita el uso en grandes cantidades de este combustible en el territorio nacional.

El parque de generación del Sistema Eléctrico Nacional Venezolano está conformado por un significativo número de infraestructuras, localizadas en su mayoría, en la región de Guayana, donde funcionan los complejos hidroeléctricos más grandes del país. Éstos ofrecen 62% del potencial eléctrico que llega a hogares e industrias de toda la Nación, 35% de la generación de electricidad proviene de plantas termoeléctricas, y 3% corresponde al sistema de generación distribuida, conformada por generadores con MCI diesel (Corporación Eléctrica Nacional 2019). En el caso de las fuentes de energía renovables, el potencial de generación de energía eólica en Venezuela es alto. La instalación de molinos eólicos agrupados en la península de Paraguaná o en la Guajira generaría electricidad en forma barata, ecológica y sustentable (Ravelo y col., 2009). Asimismo, dada su ubicación geográfica, Venezuela tiene buen potencial para el aprovechamiento de energía solar. Aunque se conocen todas estas opciones de fuentes de energía eléctrica, se eligió no entrar en detalles al respecto en este estudio y se tomó el precio promedio (U.S. Department of Energy 2019) mostrado en la tabla 2, donde también se refleja el precio de la electricidad en Venezuela, la cual alcanza un subsidio de más del 90%. Resulta importante destacar que actualmente el Sistema Eléctrico Nacional Venezolano se encuentra en mal estado debido a la falta de mantenimiento de los equipos, por este motivo no se encuentran operativas la gran mayoría de las plantas termoeléctricas y los generadores MCI diésel. De igual manera el complejo hidroeléctrico no se encuentra trabajando al 100% de su capacidad óptima, esto dificulta la generación y transporte de electricidad en el territorio nacional.

TABLA 2
Precios de combustibles

Combustible	Precio [\$]
Gasolina 95 [gal]	3,03
Diesel [gal]	2,85
Gas Natural Vehicular [ft ³]	0,018
Etanol [gal]	1,56
Electricidad [kWh]	0,031

4.2 Eficiencia global

Para estimar la eficiencia global “Pozo a Ruedas” se utilizan valores de eficiencia aproximados para cada proceso, tomando en cuenta la tecnología disponible actualmente. La tabla 3 presenta las eficiencias aproximadas de los procesos considerados en este estudio (Guzzella y col., 2007, Husain 2005, U.S. Department of Energy 2016, Kreith y col., 2003).

La tabla 4 presenta las eficiencias globales finales de las plataformas seleccionadas para este estudio, resultado de la combinación de la eficiencia de los procesos involucrados en cada plataforma. Para el caso del VEB y de los VHE “Plug-in” (VHE que se pueden también recargar conectándolos a la red eléctrica) se consideran dos escenarios de generación de electricidad, ya que según sea el esquema de generación eléctrica del país, la eficiencia global de la plataforma puede variar. En el primer escenario toda la generación se da a través del uso de plantas de generación diésel convencionales. El segundo escenario contempla la utilización de plantas de Ciclo Combinado (CC) que utilizan gas natural. Para los modelos “Plug-in” las eficiencias se estimaron tomando en cuenta el porcentaje de autonomía eléctrica pura respecto a un recorrido diario promedio de 66km.

TABLA 3
Eficiencia de procesos

Proceso	Eficiencia [%]
Refinería y Transporte (Gasolina)	86
Motor y Transmisión (Gasolina)	17
Refinería y Transporte (Diesel)	90
Motor y Transmisión (Diesel)	20
Refinería y Transporte (Etanol)	59
Motor y Transmisión (Etanol)	12
Refinería y Transporte (Gas Natural)	91
Compresión (Gas Natural)	94
Motor y Transmisión (Gas Natural)	16
Motor y Transmisión (Híbrido Gasolina)	29
Motor y Transmisión (Híbrido Diesel)	35
Generación de electricidad (Diesel)	48
Generación de electricidad (Gas Natural)	55
Transmisión a la toma residencial (Eléctrico)	94
Batería y Electrónica de potencia (Eléctrico)	80
Motor y Transmisión (Eléctrico)	90

TABLA 4
Eficiencia global para distintas plataformas

Tipo de Vehículo	Eficiencia Global [%]
VCI Gasolina	15
VCI Etanol	7
VCI Diesel	18
VCI Gas Natural	14
VEB (Escenario Plantas Diesel)	29
VEB (Escenario Plantas CC)	34
VHE (Gasolina)	25
VHE “Plug-in” (Gasolina + Plantas Diesel)	26
VHE “Plug-in” (Gasolina + Plantas CC)	27
VHE “Plug-in” (Diesel + Plantas Diesel)	27
VHE “Plug-in” (Diesel + Plantas CC)	30

Los dos escenarios de generación de electricidad son los peores posibles, y pretenden representar situaciones desventajosas de generación donde la fuente primaria sea principalmente un combustible fósil. Esto es un análisis de peor caso, ya que el escenario de generación eléctrica de Venezuela es mixto e incluye fuentes de generación como la hidroeléctrica y la térmica. Además es válido destacar que otros posibles escenarios de generación de electricidad a partir de fuentes de energía como la hidroeléctrica, el viento o la energía solar, tienen ventajas adicionales por utilizar recursos naturales renovables, disminuyen la cantidad de combustible utilizado y disminuyen la cantidad de contaminantes arrojados a la atmósfera tales como CO_2 y NO_x , aunque implican importantes inversiones iniciales.

4.3 Emisiones contaminantes

Se sabe que durante la combustión de carburantes fósiles se liberan diversos contaminantes tales como: dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO_x), entre otros. En este estudio se consideran únicamente las emisiones de CO_2 , ya que es el compuesto que influye en mayor medida al “Efecto invernadero” (Guzzella y col., 2007, Husain 2005). En la tabla 5 se presenta una estimación del número de toneladas de CO_2 arrojadas al medio ambiente por cada una de las plataformas en estudio, durante un ciclo de vida de 10 años. En el caso de los VCI se consideran las emisiones de CO_2 producto de su propio funcionamiento (MCI). Además se toma en cuenta la emisión de CO_2 en procesos como el de transporte de combustible y las emisiones asociadas al proceso de transformación de la materia prima. Por otra parte se establece, tanto para VEB como VHE, la demanda adicional de electricidad a la red y su correspondiente emisión de CO_2 en plantas de generación térmica (Wikipedia 2016, International Energy Agency 2011).

TABLA 5
Emisiones de CO₂ en un ciclo de 10 años

Tipo de Vehículo	Fuente de energía	Emisiones de CO ₂ Neta [Ton]
VCI	Gasolina	57
	Etanol	63
	Diesel	57
	Gas	58
VEB	Electricidad Diesel	34
	Electricidad CC	20
VHE	Gasolina	34
	Gasolina + Electricidad Diesel	32,5
	Gasolina + Electricidad CC	29,5
	Diesel + Electricidad Diesel	31,5
	Diesel + Electricidad CC	20

Observamos cómo todas las plataformas de carácter alternativo representan las plataformas con menores cantidades de CO₂ emitidas en las etapas consideradas en este estudio. El uso de los vehículos eléctricos implicaría en principio una reducción de las emisiones de CO₂ en las zonas urbanas y un aumento en menor proporción de emisiones contaminantes en las plantas de generación eléctrica, que usualmente se encuentran alejadas del casco urbano de las ciudades.

4.4 Costo inicial y de funcionamiento de los vehículos

Si bien las plataformas de propulsión planteadas pueden reducir la emisión de agentes contaminantes, éstas no podrán ser implementadas y posicionadas en el parque automotriz si no son económicamente factibles. Por esto se deben considerar los factores que inciden en la viabilidad económica de cada plataforma. Entre estos factores tenemos el costo inicial del vehículo, el costo de mantenimiento y el costo de operación.

4.4.1 Costo inicial

En la tabla 6 se presentan los costos iniciales de las plataformas en estudio estimados en base a los precios promedio de venta sugeridos por los fabricantes en el mercado de Estados Unidos (U.S. Department of Energy 2019). Como referencia los modelos escogidos son del año 2019.

TABLA 6
Costo inicial por vehículo

Tipo de Vehículo	Modelo representativo	Costo inicial del vehículo [\$]
VCI	Honda Civic	23750
	Chevrolet Malibú	26880
	Volkswagen Jetta	23220
VEB	Nissan Leaf	33095
VHE	Toyota Prius	28590
	Toyota Prius Plug-in	30350
	Volvo V60 Plug-in	44145

4.4.2 Costo de mantenimiento

En cuanto al costo de mantenimiento, en un VEB se espera sea menor que en un VCI comparable. Los VEB, dada su simplicidad, tienden a ser más confiables y requieren menor mantenimiento, dándole tendencias favorables sobre los VCI (Husain 2005). Por otra parte, los VHE contemplan un sistema de potencia que involucra componentes tanto de los VCI como de los VE, por tanto podrían encontrarse en una posición desventajosa respecto a las otras plataformas, en lo que respecta a mantenimiento, sin embargo la experiencia acumulada parece no corresponderse con esta hipótesis: Según una encuesta informal entre los taxistas que manejan VHEs en Valencia, España, el embrague dura un 100% más, y las pastillas de freno tres veces más.

4.4.3 Costo de operación

Debemos considerar el costo operativo de cada plataforma, esto se traduce básicamente en el costo que representa conducir cada vehículo una cierta cantidad de distancia, en nuestro caso $\$/ (100 \text{ km})$. Este valor se obtiene utilizando como referencia el consumo específico en millas por galón de cada vehículo (U.S. Department of Energy 2019, Arruz 2012) que ha sido homologado por la EPA (“Environmental Protection Agency” de Estados Unidos). Además de algunas consideraciones de los patrones de manejo para cada plataforma tales como:

- Patrón de conducción 45% en autopista y 55% en ciudad.
- Recorrido anual promedio de 24000 km.
- En el caso del Toyota Prius Plug-in, dada su capacidad de recarga desde la red eléctrica, para una jornada promedio, se estima su costo de operación ponderando 27% del tiempo en modo eléctrico puro y 73% en modo híbrido gasolina.
- Para el Volvo V60 Plug-in, dada su capacidad de recarga desde la red eléctrica, su costo operativo se calcula ponderando 76% del tiempo en modo eléctrico puro y 24% en modo híbrido diesel.

Debido a la mayor eficiencia energética, las plataformas eléctricas e híbridas poseen un costo operativo menor, tal como se observa en la tabla 7.

TABLA 7
Costo operativo por vehículo

Tipo de Vehículo	Modelo representativo	Costo real final de operación [\$/100 km]
VCI	Honda Civic	5,6
	Chevrolet Malibú	5,8
	Volkswagen Jetta	5,5
VEB	Nissan Leaf	0,6
VHE	Toyota Prius	3,6
	Toyota Prius Plug-in	2,8
	Volvo V60 Plug-in	3,1

4.5 Infraestructura

La implementación de nuevas tecnologías puede representar un reto en infraestructura. En este estudio se realiza un análisis principalmente cualitativo en lo que respecta a la infraestructura necesaria para utilizar cada una de las plataformas en Venezuela. Entre 2002 y 2009 el parque automotor venezolano se había incrementado un 96,4% (Cámara de Fabricantes Venezolanos de Productos Automotores FA-VENPA 2009); de modo que las proyecciones para el 2015 del parque automotor eran de 4.400.000 vehículos. Si bien esta cifra no logró alcanzarse dada la falta de divisas (Ramones 2016), este valor puede considerarse como una cota superior vehicular en el quinquenio actual. La infraestructura que necesitan las plataformas cuya fuente de energía es gasolina, diesel o gas, se encuentra disponible en Venezuela, basta con mantener las expansiones necesarias en cuanto a estaciones de servicio, pues se contempla la posibilidad de una mejora, a futuro, en las divisas. La plataforma alimentada con etanol no dispone de una infraestructura de producción instalada en el país, lo cual implica realizar inversiones. Por otra parte, los VEB dependen de la instalación de puntos de recarga de baterías públicos y residenciales. Principalmente residenciales considerando que la tendencia puede apuntar a recargar las baterías en las noches. Asimismo, existe un sistema de generación eléctrico nacional para uso industrial, comercial y residencial, sin embargo para implementar las plataformas eléctricas se debe considerar el respectivo incremento en la demanda eléctrica. Si se estima un parque de 500.000 VEB, la demanda diaria de energía eléctrica aumentaría aproximadamente 7000 MWh. Si suponemos que todos esos vehículos se recargan durante 7 horas en la noche, mientras la mayoría de los usuarios duermen, esto implicaría un aumento de 1000MW de potencia eléctrica consumida en un horario donde la demanda eléctrica suele ser menor, por ejemplo entre 10:30pm y 05:30am.

4.6 Autonomía

Los modelos escogidos se acercan a la clase sedán, y se pudo verificar que sus características de desempeño (relación peso/potencia) son parecidas. Sin embargo, dada la diferencia de la fuente de energía, es importante comparar la autonomía, que es el recorrido que puede realizar el vehículo utilizando toda la energía que puede almacenar en una recarga completa. En la tabla 8 es mostrada la autonomía de cada modelo representativo

(U.S. Department of Energy 2019). Se ha observado que los vehículos VEB y CNG tienen las menores autonomías.

TABLA 8
Autonomía por vehículo

Tipo de Vehículo	Modelo representativo	Autonomía [km]
VCI	Honda Civic	658
	Chevrolet Malibú	596
	Volkswagen Jetta	723
VEB	Nissan Leaf	242
VHE	Toyota Prius	946
	Toyota Prius Plug-in	1070
	Volvo V60 Plug-in	1200

4.7 Reducción en consumo de combustible

Un tema de gran importancia en la presente investigación se refiere a los beneficios económicos que traería a la nación la implementación de alguna de las tecnologías analizadas. Es por esto que se realiza una comparación entre el VCI de gasolina y un VHE, con la finalidad de ilustrar las ganancias debidas a la reducción en el consumo de combustible. Dado que los VHE presentan una mayor eficiencia energética frente a los VCI, es evidente que consumirán menos combustible. En la tabla 9 se presenta una estimación de la cantidad de gasolina que sería liberada del mercado interno si en un periodo de 5 años 500.000 VCI fuesen reemplazados por VHE (13% del parque automotor para el año 2015). Bajo las condiciones antes mencionadas el consumo del mercado interno de gasolina se reduciría en aproximadamente 408 millones de galones, lo que se traduciría en un ahorro aproximado de 1.236 millones de dólares, estimando un precio por galón de gasolina estable durante esos 5 años. Por supuesto esta estimación no pretende ser exacta, ya que hay otras variables involucradas, pero ilustra perfectamente las implicaciones económicas que conllevaría la implementación de plataformas alternativas.

TABLA 9
Estimación de gasolina liberada del mercado interno

Tipo de Vehículo	Modelo	Consumo de 500.000 vehículos en 5 años [gal]
VCI	Honda Civic	1.116.000.000
VHE	Toyota Prius	708.000.000
	Diferencia	408.000.000

4.8 Final de vida

Para analizar la fase final de vida de los VCI, VHE y VEB se tendrán en cuenta aquellos materiales que conforman su totalidad y los porcentajes de peso en el vehículo. La tabla 10 muestra la composición de los VCI, VHE y VEB (Daimler 2012, Mendes 2013, Qnovo 2019). Para los VEB se aproximará la diferencia en composición a los VHE únicamente por el uso de las baterías, cambiando así única-mente el porcentaje de Acero, MF (Materiales Ferrosos) y MC (Materiales Contaminantes).

Debe ser considerada la diferencia de peso total entre las distintas modalidades. Para esto se tomará como modelo los automóviles: Honda Civic (VCI), Toyota Prius (VHE) y Nissan Leaf (VEB), con un peso de 1.279, 1.326 y 1.474 kg respectivamente.

Resulta necesario también estimar la tasa de material recuperable promedio (tabla 10). Estos datos se obtuvieron a partir de la investigación de Fayçal-Siddikou, B y col. 2009. Se utilizará el peor caso para los VEB en cuanto a los MC esto debido a la baja tasa de reciclaje de sus baterías en todo el mundo. De igual manera, se debe considerar el precio por kg del material reciclado. En ese sentido, para las diferentes categorías de materiales se considerará un valor promedio de los materiales correspondientes (Supraciclaje 2019), exceptuando los MC, debido a la gran diferencia que existe en cuanto a su composición y su precio por kg en cada tipo de vehículo.

TABLA 10
Uso de materiales en un vehículo VCI/ VHE/ VE

Materiales	Porcentaje en peso del vehículo VCI/VHE/VEB [%]	Tasa de recu- peración promedio [%]	Precio [\$ /kg]
Acero y MF	57,5/ 57,25/ 50,08	99,82	0,19
Polímeros	20/ 18,69/ 18,69	32,06	0,24
AL	10,4/ 11,8/ 11,8	91,20	1,19
FS	4/ 1,95/ 1,95	34,21	0,11
MNF	3,5/ 3,62/ 3,62	93,49	0,18
Otros	3,56/ 3,68/ 3,68	8,29	0,06
Electrónicos	0,3/ 1,17/ 1,17	88,53	1,97
ME	0,04/ 0,85/ 0,85	72,13	0,21
MC	0,7/ 0,99/ 7,1	98/ 73,2/ 20	2,3/ 11,2/ 7,1

MF: Materiales Ferrosos; AL: Aleaciones Ligeras (Aleaciones de Alumi-nio y/o Zinc); FS: Fluidos de Servicio (Refrigerantes y Aceites); MNF: Materiales No Ferrosos (Magnesio, Estaño, Níquel); Otros (Textiles); Elec-trónicos (Aleaciones de Cobre, Bronce); ME: Metales Especiales; MC: Materiales Contaminantes (Plomo/ Níquel/ Litio).

A partir de estos datos se calcula un retorno de capital para el Honda Civic de 340 \$, para el Toyota Prius de 479 \$ y para el Nissan Leaf 488 \$. Resulta importante destacar que, más allá del beneficio económico que el reciclaje de las partes puede generar, se busca principalmente reutilizar es-tos materiales debido al efecto

contaminante y nocivo que producen en el ambiente, y a su vez reducir la extracción de materia prima del planeta.

Uno de los factores de mayor importancia en los componentes de los VE es que el reciclaje de sus baterías es muy escaso, en el mundo solo se recicla alrededor del 5% de las baterías Li-ion, a diferencia de las baterías de plomo del VCI y las de Ni-Mh del VHE que se reciclan alrededor del 85% a nivel mundial. Para los VE esto causa un gran impacto ambiental y a su vez genera un consumo mucho mayor de los minerales presentes en el planeta.

4.9 Evaluación global de plataformas

Para comparar las distintas plataformas tomando en cuenta los indicadores disponibles (técnicos, ambientales y económicos), se propone adaptar a este caso de estudio un procedimiento de normalización (Pistoia 2010). Para cada parámetro considerado debe estimarse un indicador normalizado en el que el valor “1” represente la mejor opción. Se tienen los siguientes parámetros comparativos: eficiencia global, emisiones de CO₂, costo inicial, costo de operación y autonomía. Para la eficiencia y autonomía el indicador se calcula según la ecuación 1, ya que mientras mayor sea la eficiencia global o autonomía, mejor calificado está el vehículo. En los casos restantes el indicador se determina según la ecuación 2, ya que los parámetros de emisiones de CO₂, costo inicial y costo de operación interesan valores mínimos.

$$IndNor_i = \frac{Ind_i}{Ind_{max}} \quad (1)$$

$$IndNor_i = \frac{\left(\frac{1}{Ind}\right)_i}{\left(\frac{1}{Ind}\right)_{max}} \quad (2)$$

Además se propone calcular un indicador general que englobe todos los aspectos considerados, que será tomado como el promedio ponderado de los indicadores previos. En el proceso de ponderación se tomó el mismo peso para todos los indicadores a excepción del indicador de autonomía que se consideró con la mitad de peso. Aunque la autonomía está relacionada con la comodidad del usuario, se consideró, por ejemplo, que el hecho que un VEB tenga menor autonomía no es tan crítico (en comparación con los demás indicadores), si se considera que en promedio estos vehículos pueden recargar sus baterías diariamente mientras estacionan en la casa o en el trabajo. La tabla 11 muestra el indicador generalizado para los distintos casos de estudio.

TABLA 11
Indicador generalizado de plataformas

Sistema de Propulsión	Indicador Generalizado [%]
VEB (Electricidad CC)	81
VHE “Plug-in” (Diesel + Electricidad CC)	77
VHE (Gasolina)	69
VEB (Electricidad Diesel)	69
VHE “Plug-in” (Gasolina + Electricidad CC)	67
VHE “Plug-in” (Diesel + Electricidad Diesel)	67
VHE “Plug-in” (Gasolina + Electricidad Diesel)	65
VCI (Diesel)	54
VCI (Gasolina)	52
VCI (CNG)	46
VCI (Etanol)	41

El VEB en ambos escenarios de generación se encuentra entre las cuatro mejores opciones. Las plataformas de propulsión híbrida están entre la 2da y la 7ma posición. En las últimas 4 posiciones están las plataformas de combustión interna. Las opciones que sobresalen son el VEB con Electricidad a partir de Plantas CC y el VHE “Plug-in” (Diesel+Electricidad CC). Por un lado la generación CC es más eficiente y menos contaminante que la generación Diesel.

Por otro lado, estas dos plataformas tienen un alto porcentaje de autonomía eléctrica respecto a una jornada promedio de 66km. En un segundo grupo vemos las demás opciones de VHE. Particularmente se puede analizar que aunque el VHE “Plug-in” (Gasolina+Electricidad CC) supera en cuatro de los cinco indicadores al VHE (Gasolina), este último es apreciablemente más económico (dado a que ha sido fabricado por más años), por lo que obtiene una puntuación ligeramente superior. Los modelos Diesel toman ventaja frente a los modelos Gasolina en Eficiencia, Costo de operación y Emisiones de CO₂.

Por otra parte, hay que tomar en cuenta que el indicador generalizado de arriba no contempla la comparación de costos de mantenimiento, costos de infraestructura ni de ciclo de vida. Sin embargo, se puede analizar cualitativamente que los costos de mantenimiento le dan cierta ventaja a los VEB y a los VCI frente a los VHE. Respecto a la inversión en infraestructura, los VEB y los VHE “Plug-in” requerirían un aumento en la capacidad de generación, sin embargo sería un aumento gradual que puede planificarse a la par con el crecimiento del país; por tanto la inversión en infraestructura no debería ser una desventaja importante de las plataformas VEB y VHE si se compara con las ventajas en ahorro de combustible y eficiencia. Respecto al ciclo de vida, la diferencia principal se observa en el impacto ambiental de las baterías de VEB y VHE. En la

medida que un vehículo tenga baterías más grandes y/o con tecnología menos reciclable, esto puede restar ventaja a dicha opción frente a los VCI y los VHE con baterías medianas y con materiales reciclables.

4.10 Estudio de pre-factibilidad económica

Para complementar el análisis anterior, y comparar la factibilidad de implementar las tecnologías de los VEB y VHE contra los VCI de gasolina se propone realizar un necesario estudio de pre-factibilidad económica. Este estudio permite, mediante la consideración de factores ambientales, técnicos, financieros y socio-económicos, determinar si se debe seguir adelante con un proyecto.

Se considerarán las siguientes variables para este estudio: modelo de energía, análisis de costos, análisis de emisiones, análisis financiero y análisis de riesgo (Contreras, F 2011). Con respecto al análisis de emisiones, se utilizará el mencionado en el apartado 4.3.

Se estudiarán los casos VCI vs. VHE y VCI vs. VEB por un período de tiempo de 10 años (240.000 km).

4.10.1 Modelo de energía

Para los VHE y VCI se utilizará gasolina como tipo de combustible y los datos proporcionados por la EPA de un consumo de combustible de 1,18 gal/100 km y 1,86 gal/100 km respectivamente. Para un recorrido anual de 24.000 km se obtiene un consumo de 283,2 y 446,4 gal/año por unidad de VHE y VCI. Se usará el precio promedio de la gasolina mencionado en el apartado 4.1, el cual es de 3,03 \$/gal. De esta manera, se obtiene un costo anual de 858,1 \$ y 1352,6 \$ por unidad de VHE y VCI, respectivamente.

Para el Nissan Leaf que utilizará electricidad como combustible se utilizarán los datos proporcionados por la EPA, del cual resulta un valor de 18,63 kWh/100 km. Para el recorrido anual de 24.000 km se tendrá un consumo de 4471,2 kWh. Considerando el precio de 0,031 \$/kWh se tendrá un costo total anual de 138,6 \$.

4.10.2 Análisis de costos

Se toma como modelo los automóviles: Honda Civic (VCI), Toyota Prius (VHE) y Nissan Leaf (VEB). La tabla 12 muestra los precios de los vehículos y sus diferencias con respecto al VCI.

TABLA 12
Precios de los vehículos a considerar

Tipo de Vehículo	Modelo	Costo inicial del vehículo [\$]
VCI	Honda Civic	23750
VHE	Toyota Prius	28590
	Diferencia	4840
VCI	Honda Civic	23750
VHE	Nissan Leaf	33095
	Diferencia	9345

Se considerará el mantenimiento anual del vehículo como costos periódicos, esto incluye la sustitución o limpieza de las distintas partes del vehículo. Como costo anual para VCI se utilizará un promedio de 1000 \$ (Autingo 2019), con un ahorro del 30% para el VHE (debido a que el MCI es más pequeño y menos solicitado) y de 60% para el VEB (promedio de los diferentes VEB) debido a la menor cantidad de piezas que poseen estos vehículos (Motorpasion 2019). De igual manera, se agregará reemplazo de la batería del VHE y VEB cada 8 años (tiempo de vida útil promedio de la batería), cuyos costos son de 2400 \$ y 4500 \$, respectivamente.

Los costos de desarrollo e ingeniería serán despreciables, ya que se considerarán tecnologías que se encuentran desarrolladas.

4.10.3 Análisis financiero

Sin considerar la tasa de inflación o descuentos sobre el combustible, se obtiene la tabla 13, que muestra los valores para la Tasa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Neto (VPN) y el retorno del capital.

TABLA 13
Valores de la TIR, VPN y el pago simple de retorno del capital

Caso	TIR [%]	VPN [\$]	Retorno del capital [años]
VCI-VHE	3,2	705	6,1
VCI-VEB	9,2	4345	5,1

Siendo: VPN las posibles ganancias obtenidas a partir de la realización del proyecto, un VPN positivo se traduce en un proyecto factible; TIR la tasa de interés con la que el VPN sería cero (Contreras 2011); y el retorno del capital el tiempo que el proyecto demora en recuperar la inversión inicial realizada.

Para el caso VCI-VHE se obtuvo una relación beneficio-coste de 1,15, mientras que para el VCI-VEB un valor de 1,46.

4.10.4 Análisis de riesgos

A través de este análisis se pueden determinar las variaciones en el proyecto que cambiarían su rentabilidad. En este caso, el precio del combustible es uno de los factores más determinantes; un aumento en el precio del mismo re-presentaría un gran beneficio para el proyecto. Otro factor que afecta en gran magnitud es el costo inicial de los vehículos, se espera que con el aumento de la producción de diferentes empresas estos costos disminuyan, beneficiando así la implementación de los VHE y VEB.

5 CONCLUSIONES

Utilizando los datos anteriores, se realizó una comparación técnica, económica y ambiental en tres tipos de vehículos: convencional, eléctrico puro e híbrido eléctrico, y a su vez cada uno de estos alimentados con fuentes de energía distintas. En lo que respecta a los VEB, el impacto ambiental y económico depende de la fuente de energía eléctrica. Sin embargo se ha observado que incluso en el peor caso, si la electricidad se genera a partir de combustibles fósiles, los VEB se mantienen competitivos frente a los VHE. Más aún,

considerando electricidad generada a partir de fuentes renovables, el VEB presentará importantes ventajas respecto a las demás plataformas. La tendencia indica que los VEB y los VHE presentan una mejor eficiencia energética. Asimismo reducen las emisiones contaminantes al ambiente. Esto aporta un gran sentido de sustentabilidad a dichas plataformas. Cabe destacar que la contaminación que presentan los VEB luego de terminar su vida útil es de las más críticas de las tres plataformas, esto debido a que no existen muchas empresas que actualmente reciclen sus baterías. A medida que se adopte más esta tecnología se espera que aumente el número de empresas interesadas en reciclar las partes de estos vehículos.

Mediante el estudio de prefactibilidad económica se logra demostrar que para un periodo de 10 años las plataformas de los VEB y VHE resultan más atractivas que los VCI en cuanto al apartado económico. Aunque el costo inicial de los VEB y VHE es superior que el de los VCI, el ahorro de dinero por el menor uso de combustible podría superar el valor de subsidio de esos vehículos por parte del estado venezolano. De igual manera se debe realizar un estudio de factibilidad y rentabilidad considerando medidas tales como el subsidio del reemplazo de las baterías u otros incentivos, para estimular el uso de estos vehículos. Se podrá realizar este análisis en estudios posteriores.

En lo que respecta a infraestructura, los VHE presentan una gran ventaja frente a los VEB, ya que los primeros utilizarían la plataforma de distribución de combustible existente en Venezuela para VCI. Por su parte los VEB dependen de la instalación de puntos de recarga de baterías públicos y residenciales. Además su implementación se traduciría en un incremento en el consumo de electricidad, lo que implica un necesario aumento en las inversiones para elevar la capacidad de generación eléctrica instalada en el país.

Este estudio presenta un nuevo paso para evaluar la posible aplicación de distintas plataformas de propulsión para el sistema de transporte venezolano, que mejoren su eficiencia y sustentabilidad. Se presenta un análisis comparativo cuantitativo y cualitativo de distintas características de las opciones de transporte particular. Lo presentado en este trabajo da pie para posteriores análisis más detallados que sigan apuntando a recomendar mejoras al sistema de transporte particular, e incluso para iniciar análisis energéticos y de sustentabilidad que comparen distintos tipos de transporte público y/o particular aplicados a Venezuela o a diferentes países en el mundo.

6 ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

CC: Ciclo Combinado

CNG: Gas Natural Comprimido (“Compressed Natural Gas”)

EPA: Agencia de Protección Ambiental (“Environmental Protection Agency”) de Estados Unidos

Gen: Generación (de electricidad)

GNV: Gas Natural Vehicular

VCC: Vehículos con Celdas de Combustible

VCI: Vehículo con MCI

VEB: Vehículos Eléctricos a Batería

VHE: Vehículo Híbrido Eléctrico

MCI: Motor de Combustión Interna

MF: Materiales Ferrosos

AL: Aleaciones Ligeras

FS: Fluidos de Servicio

MNF: Materiales No Ferrosos

ME: Metales Especiales

MC: Materiales Contaminantes

TIR: Tasa Interna de Retorno

VPN: Valor Presente Neto

AGRADECIMIENTOS

Reconocemos el apoyo del Decanato de Investigación y Desarrollo y del Laboratorio de Dinámica de Máquinas, ambos de la Universidad Simón Bolívar; además del Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología.

REFERENCIAS

- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2016, Síntese dos Preços Praticados – Brasil: Resumo I Período: de 18/09/2012 a 24/09/2012 [en línea] [ref. 22 de septiembre de 2016], Brasil, Disponible en Web .
- Arruz J, 2012, Volvo V60 Plug-in Hybrid [en línea] [ref. 22 de septiembre de 2016], Madrid, Disponible en Web <www.km77.com/00/volvo/v60/plug-in-hybrid/2012/volvo-v60-plug-in-hybrid-precios.asp>.
- Autingo.com, 2019, Calcula el precio de reparación y mantenimiento de tu coche [en línea] [ref. 13 de abril de 2019], España, Disponible en Web <www.autingo.es>.
- Centralamericadata.com, 2016, Precios de combustibles al 4 de junio 2019 [en línea] [ref. 4 de junio de 2019], EEUU, Disponible en Web <www.centralamericadata.com/es/article/home/Precios_de_combustibles_al_12_de_septiembre_2016>.
- Contreras F, 2011, Rediseño de la topología y la estrategia de control del tren de potencia de un vehículo híbrido, Tesis de Pregrado, Universidad Simón Bolívar, Caracas.
- Corporación Eléctrica Nacional, 2019, Procesos Medulares: Generación [en línea] [ref. 4 de junio de 2019], Caracas, Disponible en Web <www.corpoelec.gob.ve/generación>.
- COVENIN, 1998, Productos Derivados del Petróleo. Combustibles para Motores Diesel y Gasóleo Industrial, 662:1998. 4a revisión. Caracas: FONDONORMA.
- Daimler AG, 2012, Environmental Certificate Mercedes-Benz A-Class [en línea] [ref. 11 abril de 2019] Disponible en Web <www.daimler.com/sustainability/vehicles/resources/environmental-certificates/a-class.html>.
- Ehsani M, Gao Y, Gay S, et al., 2005, Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles. Fundamentals, Theory, and Design. Estados Unidos de América: CRC PRESS, ISBN: 0-8493-3154-4.
- Emadi A, 2005, Handbook of Automotive Power Electronics and Motor Drives. Boca Raton: CRC PRESS, ISBN: 0-8247-2361-9.
- Evans R, 2007, Fueling Our Future: An Introduction to Sustainable Energy, New York: Cambridge University Press, ISBN: 0-511-28943-X.
- FAVENPA (Cámara de Fabricantes Venezolanos de Productos Automotores), 2009, Parque Automotor Venezolano 2009: Resumen Ejecutivo. Informe inédito, Venezuela.
- Fayçal-Siddikou Boureima, Maarten Messagie, Julien Matheys, Vincent Wynen, Nele Sergeant, Joeri Van Mierlo, Marc De Vos, Bernard De Caemel, 2009, Comparative LCA of electric, hybrid, LPG and gasoline cars in Belgian context, World Electric Vehicle Journal Vol 3, ISSN: 2032-6653, Norway.
- Globalpetrolprices.com, 2019, Precios de la Gasolina, Precios del diesel [en línea] [ref. 4 de junio de 2019], EEUU, Disponible en Web <es.globalpetrolprices.com>.
- Guzzella L, Sciarretta A, 2007, Vehicle Propulsion Systems. Introduction to Modeling and Optimization. 2a edición, Berlin: Springer, ISBN: 978-3-540-74691-1. (doi: 10.1007/978-3-540-74692-8).
- Husain I, 2005, Electric and Hybrid Vehicles, Design Fundamentals. Boca Raton: CRC PRESS, ISBN: 0-8493-1466-6.
- International Energy Agency, 2011, CO2 Emissions from Fuel Combustion: Highlights [en línea] [ref. 22 de septiembre de 2016], Paris, Disponible en Web <www.iea.org/media/statistics/co2highlights.pdf>.
- Mendez T, 2013, Life Cycle Assessment of the Hybrid Vehicle – Toyota Prius, Master Thesis, Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, Germany.
- Motorpasion.com 2019, Coches y actualidad del mundo del motor [en línea] [ref. 4 de junio de 2019], Disponible en Web <www.motorpasion.com>.

- Kreith F, West R, 2003, Gauging efficiency: Well-to-wheel. Mechanical Engineering Power.
- PDVSA (Petróleos de Venezuela, S.A. y sus Filiales), 2019, Informe Operacional y Financiero al 30 de septiembre de 2008. Caracas.
- PDVSA, 2015, Informe de Gestión Anual 2015, Caracas.
- Pistoia G, 2010, Electric and Hybrid Vehicle: Power Sources, Models, Sustainability, Infrastructure and the Market, Amsterdam: Elsevier, ISBN: 978-0-444-53565-8. (doi: 10.1016/B978-0-444-53565-8.00023-3).
- QNovo.com, 2019, Reinventing the battery experience [en línea] [ref. 4 de junio de 2019], EEUU, Disponible en Web
- Ramones M, 2016, Parque automotor de Venezuela ha en-vejecido un 50% [en línea] [ref. 09 de mayo de 2016], Venezuela, Disponible en Web <www.panorama.com.ve/ciudad/Parque-automotor-de-Venezuela-ha-envejecido-un-50-20160509-0080.html>.
- Ravelo O, Sepúlveda M, 2009, Energía Eólica en Venezuela, En: V Seminario de Ecoeficiencia, Producción Limpia y Consumo Sustentable, Caracas, Universidad Metropolitana, Disponible en Web <www.vitalis.net/VSeminarioEcoeficiencia.htm>.
- Romero J, Contreras F, Maan F, 2018, Comparación de tecnologías de propulsión aplicables al transporte vehicular particular en Venezuela. Avances y Retos de la Ciencia e Ingeniería, Vicerrectorado Académico Universidad de Los Andes, Venezuela y Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ibarra, Cap. 39, pp. 339-347.
- Romero-Quintini J, 2009, Diseño e implementación de un sistema de control de flujo de energía en el tren de potencia de un Vehículo Híbrido, Tesis de Maestría, Universidad Simón Bolívar, Caracas.
- Supraciclaje.com, 2019, Tecnología en soluciones de reciclaje, venta y compra de chatarra en Mexico y Latinoamérica [en línea] [ref. 4 de junio de 2019], México, Disponible en Web <www.supraciclaje.com/precios-hoy>.
- Tradingeconomics, 2019, Ethanol [en línea] [ref. 4 de junio de 2019], EEUU, Disponible en Web <www.tradingeconomics.com/commodity/ethanol>.
- U.S. Department of Energy, 2016, Fuel Economy Guide: Model Year 2015 [en línea] [ref. 22 de septiembre de 2016], EEUU, Disponible en Web <www.fueleconomy.gov/feg/pdfs/guides/FEG2016.pdf>.
- U.S. Department of Energy, 2019, www.fueleconomy.gov: the official U.S. government source for fuel economy information [en línea] [ref. 4 de Junio de 2019]. Disponible en Web <www.fueleconomy.gov>.
- Unidad de Planeación Minero Energética, 2016, Sistema de Información de Petróleo y Gas Colombiano: Indicadores [en línea] [ref. 22 de septiembre de 2016], Colombia, Disponible en Web <www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta_Indicador.aspx?idModulo=3&Ind=8>.
- Wikipedia, 2016, Central termoeléctrica [en línea] [ref. 22 de septiembre de 2016], EEUU, Disponible en Web <es.wikipedia.org/wiki/Central_termoeléctrica>.