

¿Por qué es necesario seguir desarrollando motores de combustión para luchar contra la crisis climática global desde la perspectiva del transporte?

The real necessity of Internal Combustion Engines development for fighting against climatic change crisis from the point of view of Road Transport

José Ramón Serrano¹, Raúl Payri², Bernardo Tormos³, Alejandro Gómez Vilanova⁴

Resumen

Los motores de combustión interna alternativos (MCIA) son el principal sistema de propulsión en el transporte por carretera. El presente trabajo presenta un análisis objetivo de la imposibilidad directa del reemplazo total de los mismos como planta motriz en los vehículos. A día de hoy, este comentario es absolutamente cierto incluso considerando el mejor escenario de previsión de crecimiento para los vehículos eléctricos e híbridos. Los argumentos para defender esta postura tienen en cuenta el crecimiento en la demanda de transporte, el avanzado desarrollo de motores ultra limpios y de alta eficiencia, la disponibilidad de combustibles de origen fósil, los bajos tiempos de repostaje y alta densidad energética de los combustibles líquidos. Todos ellos son fuertes argumentos para apoyar una viabilidad a medio y largo plazo de los MCIA como planta propulsora predominante en las aplicaciones del transporte por carretera.

Ampliación del artículo publicado en el Boletín de Noticias de Automoción, Especial Vacaciones Agosto 2019 (I), de la Asociación Española de Profesionales de Automoción (ASEPA), titulado "Los motores de combustión contra la crisis climática".

Palabras clave

Palabras clave: MCIA, transporte, eficiencia energética, contaminación atmosférica.

Abstract

Internal combustion engines (ICE) are the main propulsion systems in road transport. This work discusses the impossibility of replacing them as a power plant in most vehicles. Nowadays, this statement fulfils even considering the best growth scenario for all-electric and hybrid vehicles. The arguments supporting this position took into account the growing demand for transport, the strong development of ultra clean and more efficient ICE, the availability of fossil fuels, the low refuelling times and the high energy density of liquid fuels. Overall, there seemed to be strong arguments to support the medium-long-term viability of the ICEs as the predominant power plant for road transport applications.

Keywords

Key words: ICE, transport, energy efficiency, atmospheric pollution.

Recibido / received: 22/09/2019. Aceptado / accepted: 22/10/2019.

Instituto Universitario CMT Motores Térmicos de la Universitat Politècnica de València.

1 Dr. Ingeniero Industrial. Catedrático de Universidad. Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la UPV.

2 Dr. Ingeniero Industrial. Catedrático de Universidad. Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la UPV.

3 Dr. Ingeniero Industrial. Catedrático de Universidad. Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la UPV.

4 Graduado en Ingeniería Mecánica. Máster en Motores de Combustión. Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la UPV.

Autor para correspondencia: Prof. Bernardo Tormos Martínez. E-mail: betormos@mot.upv.es.



Turbo caliente. Foto cedida por los autores del artículo.

Introducción

Los motores de combustión interna (MCI) son los principales sistemas de propulsión en el transporte terrestre y ya a mediados de 2017 Serrano [1] hacía referencia a la imposibilidad de su reemplazo como planta motriz en la mayoría de los vehículos en las próximas décadas. Esta afirmación se cumpliría incluso considerando el crecimiento de los vehículos eléctricos e híbridos enchufables. Los argumentos a favor de esta postura tenían en cuenta la creciente demanda de transporte; el fuerte desarrollo de MCI más limpios y eficientes; la disponibilidad de combustibles fósiles a buenos precios, y la alta densidad energética que presentan dichos combustibles convencionales. En conjunto, parecía haber suficientes argumentos para apoyar la viabilidad a medio-largo plazo de los MCI como planta propulsora predominante para el transporte terrestre mundial. La situación ha cambiado drásticamente en los últimos tres años. Los medios de comunicación y otros actores del mercado están reclamando la muerte de los MCI a medio plazo [2]. Los políticos de varios países del G7, como Francia y el Reino Unido, han anunciado la prohibición de los MCI en sus mercados

[3], en algunos casos ya en 2040. Las grandes ciudades como Londres, París, Madrid y Berlín están considerando límites severos para los MCI en sus calles. ¿Qué análisis se puede plantear de esta nueva situación?

¿Cuál es el problema de los MCI?

Los argumentos de los medios contra los MCI van desde la necesidad de reducir las emisiones de CO₂ (calentamiento global), hasta la necesidad de mejorar la calidad del aire en las ciudades (emisiones de NO_x y material particulado).

Gran parte de este debate sobre el futuro de los MCI ha sido amplificado (o detonado) por el escándalo del Dieselgate [4][5]. Una horrible decisión desde un punto de vista de gestión y de ingeniería (en un momento y lugar determinados) ha generado un efecto mariposa en la industria automovilística del mundo entero. No obstante, haciendo del problema una virtud, el Dieselgate ha forzado nuevas regulaciones para obtener MCI mucho más eficientes y limpios [6][7][8][9].

Como ocurre comúnmente, las viejas y laxas regulaciones han derivado actualmente en un efecto pendular hacia posiciones radicalmente contrarias,

haciendo las delicias de los medios de comunicación y generando reacciones políticas excesivas (ambos, sin una clara base científica). Todo esto se plasma en titulares alimentados por la necesidad de publicar una novedad suficientemente popular o buenista. Podríamos definir la situación como: “populismo energético”. Por supuesto, las nuevas regulaciones que obligan a la tecnología de los MCI a ser más respetuosa con el medio ambiente deben ser siempre bienvenidas. Sin embargo, las prohibiciones, motivadas por un diagnóstico deficiente de la situación no ayudarán en absoluto: ni para mejorar la calidad del aire ni para mitigar el calentamiento global.

¿Cuál es el problema con los vehículos eléctricos?

Asumiendo la necesidad del transporte a medio y largo plazo, ¿cuál debiera ser la alternativa al MCI actual? ¿Son automóviles como los que fabrica Tesla? Combinando ese efecto péndulo del que se hablaba antes con el excelente marketing de la marca americana, el cóctel de confusión está servido para los medios de comunicación. Al fin y al cabo, uno podría preguntarse: ¿No están los sistemas propulsivos conven-

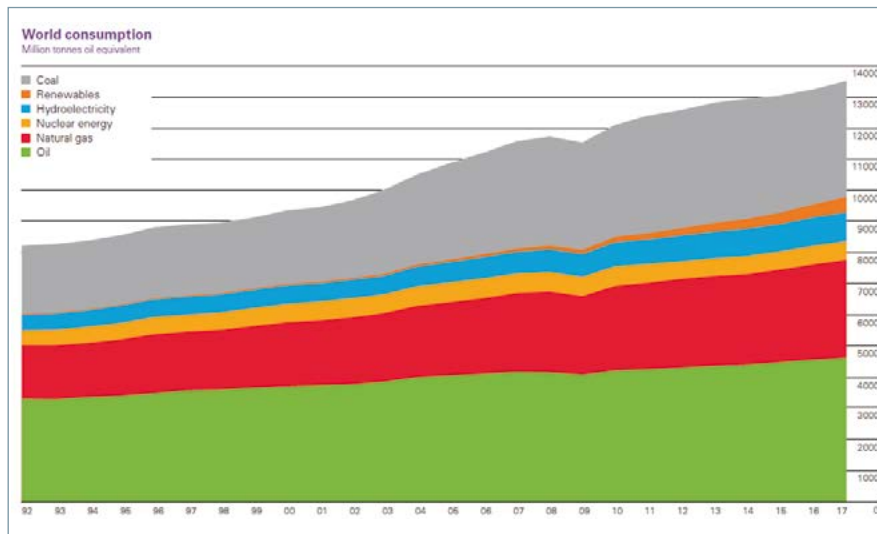


Figura 1. Evolución del consumo mundial de energía según origen en millones de toneladas equivalentes de petróleo en los últimos 25 años [18].

cionales usando la misma tecnología durante los últimos 140 años o incluso más? ¿Cómo puede un concepto tan antiguo ser innovador? ¿Cómo puede ser genial y tecnológico un MCI si continúan quemando cosas dentro de los motores? Y fácilmente llegar a la siguiente conclusión errónea: ¡Demos la bienvenida a los *nuevos motores eléctricos y baterías* en automóviles de cero emisiones!

La mala noticia es que la energía ni se crea ni se destruye, solo se transforma. Los motores eléctricos y las baterías no son nuevos, tampoco son limpios y, en general, no están libres de problemas; específicamente, dos grandes problemas.

El primer gran problema es que el motor eléctrico no usa una fuente de energía, sino un vector energético. Esto es: electricidad, que no existe como fuente y no se puede acumular en grandes cantidades; tiene que generarse cuando se consume. Si pensamos en las baterías como acumuladores de energía eléctrica, estas se inventaron hace mucho tiempo y siguen siendo pilas de productos químicos que pueden transformarse fácilmente en electricidad cuando sea necesario. Pese al progreso observado, las baterías son una tecnología totalmente inmadura en el rango de potencia y energía necesaria para el transporte terrestre. Por tanto, no pueden competir con éxito con los combustibles líquidos. ¿Y por qué es una tecnología tan inmadura? Hay cuatro motivos:

- El reabastecimiento del nivel de batería es inaceptablemente largo para los usuarios [10].
- La densidad de energía es inaceptablemente baja. Con autonomías reales por debajo de los 250 km en los utilitarios [11] y alrededor de los 300 km en los SUV [12].
- La durabilidad de las baterías es limitada y menor que la vida útil del propio vehículo. Estudios como Tang et al [13] y Polzin et al [14] son buena prueba de este problema asociado a más basura electrónica que reciclar.
- Por último, el suministro de materias primas para su fabricación (níquel, litio, cobalto, cobre, manganeso, etc.) es un problema acuciante, ya que están alcanzando precios desorbitados. Según Sarah Maryssael, gerente global de suministros de metales para Tesla [15], actualmente el principal problema es el aprovisionamiento de cobalto, necesario para el cátodo de las baterías de iones de litio; un Tesla Model X necesita 7 kg por vehículo y un Tesla Model 3 unos 4,5 kg [16]. Este mineral se extrae principalmente en la República Democrática del Congo, donde se incumplen los derechos humanos a través del trabajo infantil y la falta de seguridad en las minas, entre otras muchas realidades [17]. Luego llega a los mercados internacionales y su origen se diluye debido a la escasa trazabilidad existente.

Finalmente, se refina fundamentalmente en China, por lo que se añaden problemas geopolíticos a la inseguridad del suministro.

El segundo gran problema es que no estamos hablando de tecnologías de la información y la comunicación (TIC), sino de masa, energía, potencia y el segundo principio de la termodinámica. Así como el público entiende el impacto de la gravedad y las fuerzas de fricción en las tecnologías de transporte, deben saber también como de restrictivo es el segundo principio de la termodinámica: El problema es que la electricidad tiene que ser producida, que en la mayoría de los casos se produce a partir de fuentes de energía no renovables (con alrededor del 60% de pérdidas) y que tiene que ser transportada (con las pérdidas adicionales de otro 20%). Por desgracia, las fuentes renovables son escasamente un 10% del mix energético mundial [18] y no tenemos un pronóstico a medio plazo de que esta cifra aumente significativamente. Esto lo refleja muy claramente el BP Statistical Review of World Energy (Fig. 1), que es muy pertinente por ser un análisis mundial y no estatal o urbano.

En algunos países como EE UU, China, Rusia, Polonia, Corea del Sur y Alemania, los combustibles fósiles, incluido un buen porcentaje de carbón, siguen siendo la mayor fuente de energía como materia prima de producción de electricidad. Los países del G8 con alternativas reales a las tecnologías que emiten CO₂ son básicamente uno: Francia, y ello debido a su mantenida apuesta por la energía nuclear. Por tanto, está claro que con el mix energético actual y con un análisis del ciclo de vida completo, el llamado análisis de la cuna a la tumba, la alternativa de los motores eléctricos no eliminará las emisiones globales de CO₂.

La figura 2, elaborada en 2014 por el Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport de la Comisión Europea [19], muestra eficazmente cómo con el mix Europeo de producción eléctrica no eliminaríamos las emisiones de CO₂, sino que las bajaríamos de 210 gCO₂/km a 170 gCO₂/km. Pero el problema es que Europa tiene un honroso 35% del mix entre renovables e hidráulica [18] mientras que a nivel mundial solo existe

un 10% (v. Fig. 1) y nuevamente hay que recordar que este es un problema mundial, no particular de Europa.

Más recientemente, en abril de 2019, la prensa internacional se hizo eco de un reciente estudio del IFO alemán (Institute Centre for Economic Studies, CESifo GmbH) realizado por el Prof. Dr. Hans-Werner Sinn et al. [21] y en el que se ha calculado que con el mix energético alemán un Tesla Clase 3 emite en su vida útil de 156 a 180 gCO₂/km. Esto supone entre el 11% y el 28% más que los modernos Diesel E6d Temp. En estos momentos, un análisis de la cuna a la tumba del proceso de electrificación total del transporte muestra que las emisiones gaseosas solo se estarían reubicando de las ciudades al entorno de grandes centrales térmicas y centros de producción, como ha estudiado para diversos países europeos el Dr. Maarten Messagie, de la Universiteit Brussel - research group MOBI [22]. Por desgracia, el problema del calentamiento global no puede ser “reubicado” y los fenómenos atmosféricos no conocen las fronteras, ya que las lluvias ácidas y las nubes de material particulado (PM 2.5) lo han demostrado repetidamente, como se aprecia en la figura 3 [17]. En pocas palabras, con una electrificación masiva del parque automovilístico y con el mix energético mundial actual, y en particular el europeo, solo se puede aspirar a deslocalizar el CO₂ emitido. Pero lo que es peor, no se prevén cambios sustanciales en el mix eléctrico actual de aquí a 2030 como para que la electrificación del transporte sea una solución clara al problema del cambio climático, según estudios de la Agencia Federal de Medio Ambiente Alemana [23].

¿Qué pueden aportar los nuevos motores de combustión interna (MCI)?

Las limitaciones futuras de los gases de efecto invernadero (CO₂), los contaminantes gaseosos y las emisiones de ruido serán cada vez más severas. Esto obligará a los fabricantes de motores y a la industria automovilística a invertir en tecnologías más innovadoras y sofisticadas para su reducción [8] [25][26]. Las regulaciones de emisiones en conducción real (Real Driving Emissions-RDE) se están adoptando en las principales zonas económicas

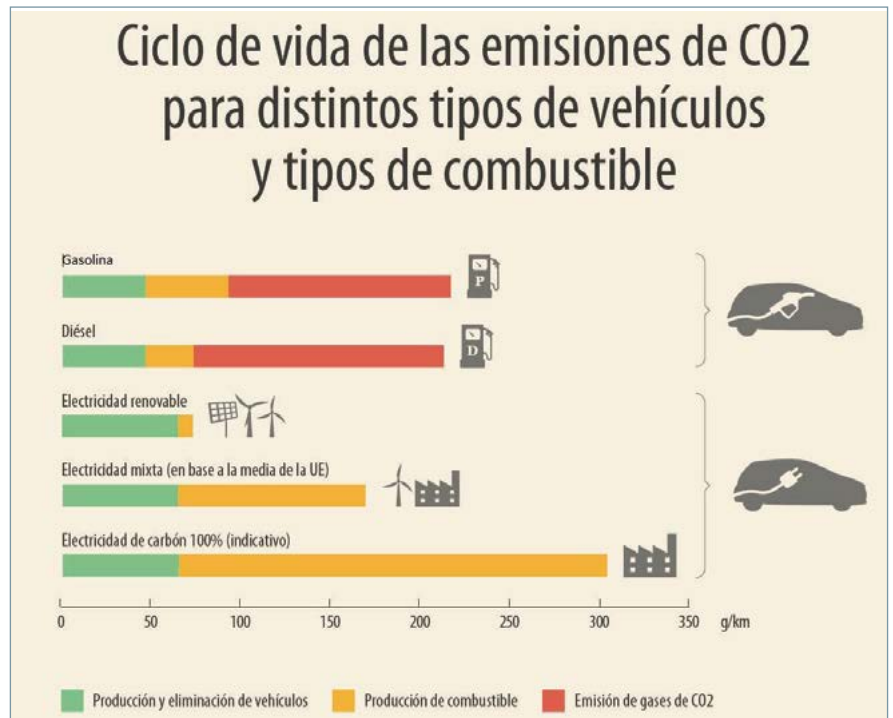


Figura 2. Emisiones de CO₂ de la cuna a la tumba en g/km dependiendo de la fuente energética [20].

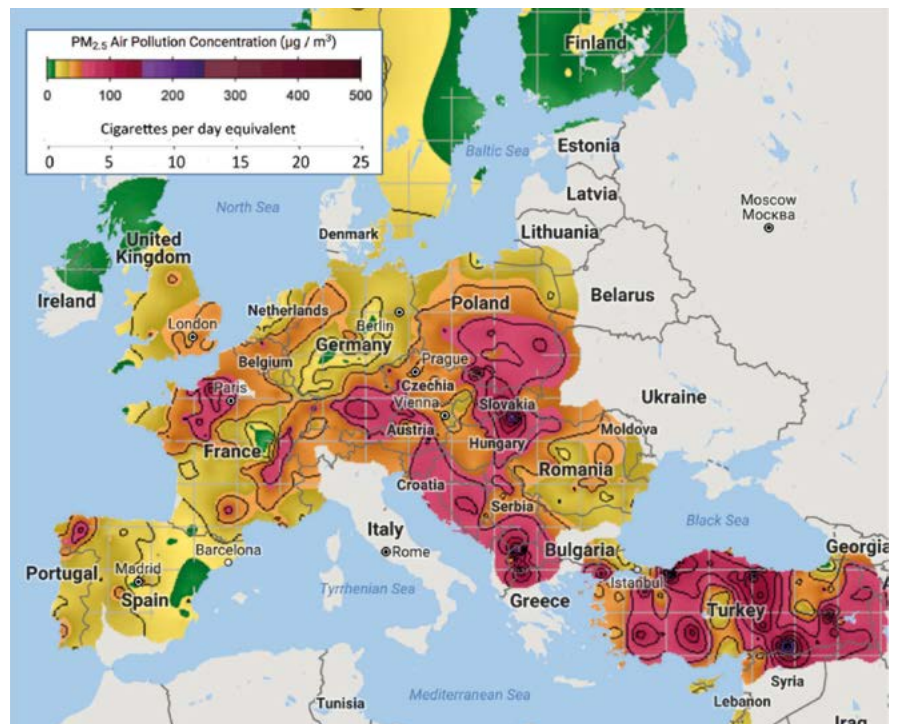


Figura 3. Niveles europeos de PM 2.5. Extraída de [24]. <http://berkeleyearth.org/wp-content/uploads/2017/01/Europe-air-pollution.png> [24].

mundiales, lo que significa desafíos adicionales para los fabricantes de automóviles, ya que esto amplía enormemente el rango operativo del MCI en el que las emisiones contaminantes deben mantenerse por debajo de los

límites de homologación [27][28][29]. Se avecina una revolución con respecto a los motores tradicionales de gasolina y diésel, y los límites entre ambos se desvanecen rápidamente a medida que se adquiere un conocimiento más

profundo y un mayor control del proceso de combustión. Los turbocompresores, los ciclos orgánicos de Rankine (ORC) y la hibridación [30][30] son parte del entorno del MCI, todos ellos dedicados a extraer cada julio de energía de los combustibles líquidos. La investigación en química de catalizadores ofrece posibilidades interesantes para la limpieza de los gases de escape hasta límites increíbles. Hoy en día, nada es demasiado innovador o arriesgado para hacer frente a la demanda esperada a medio plazo de MCI más limpios y eficientes. Finalmente, los combustibles fósiles son baratos y están disponibles. El agotamiento del petróleo ya no es un tema de discusión, ya que la tecnología del *fracking* ha ofrecido un nuevo paradigma, haciendo de Estados Unidos el mayor productor de combustibles fósiles del mundo [18].

¿Qué tienen de fantástico los nuevos motores de combustión interna (MCI)?

Los MCI emiten contaminantes gaseosos a nivel local y CO_2 ; y esto se acepta como un mantra, al igual que se acepta que los automóviles eléctricos no lo hacen. Asumir ambos paradigmas es el gran argumento para la sustitución de los MCI. ¿Qué pasa si la situación fuera de alguna manera la contraria? Si nos centramos en un análisis de la cuna a la tumba, ni la producción de las baterías ni la producción de electricidad están libres de emisiones de CO_2 y contaminantes [21]. La producción de electricidad causa emisiones de CO_2 mucho mayores que la producción de combustibles fósiles líquidos, como se mostraba en la figura 2, ya que es un vector energético más difícil de obtener y transportar. Se puede afirmar de manera similar que la producción de MCI genera emisiones de CO_2 , aunque menos que producir baterías y motores eléctricos[31][32], como también se muestra en la figura 2.

¿Qué pueden hacer los MCI para aumentar la calidad del aire? Podemos afirmar que un motor Diesel Euro 6d Temp moderno puede limpiar el aire de partículas y *smog* en países muy contaminados, o durante episodios graves de contaminación, como las situaciones referidas en China [33]. Las trampas de partículas de los moder-

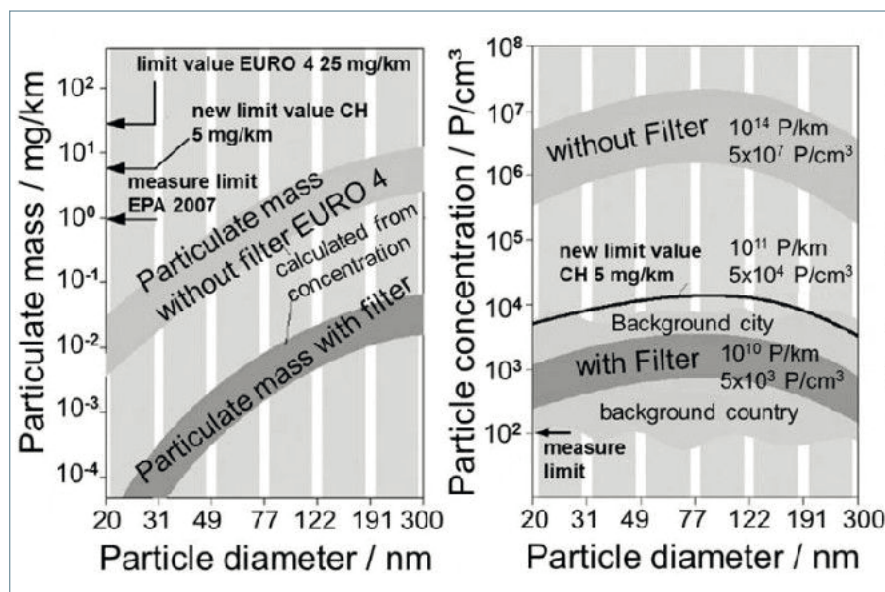


Figura 4. Los motores diésel con trampa de partículas pueden limpiar el medio ambiente urbano [34].

nos motores de combustión diésel y gasolina reducen el nivel de las PM 10 por debajo del valor medio atmosférico, como claramente se aprecia en la figura 4. Si combinamos el mensaje de esa figura [34] con los datos de la Ilustración 3, podemos entender la ventaja de tener motores de combustión con trampas de partículas en países como Polonia, donde casi el 50% de su mix energético depende exclusivamente del carbón [18] y genera graves problemas de partículas.

La tecnología está disponible y la investigación en curso para permitir que los MCI de próxima generación actúen como aspiradores de contaminantes en el aire de las grandes ciudades. Esto es algo que, definitivamente, los motores eléctricos con baterías no pueden hacer. Los nuevos Diesel E6d Temp están emitiendo un 80% menos NO_x que lo estipulado por la norma, según un estudio de la ADAC alemana; es decir, están limpiando el aire de las emisiones de otras fuentes [35]. Se necesita acción política para renovar las flotas de transporte en todo el mundo y promover en todos los países los mismos estándares en emisiones para MCI que se mantienen en EE UU, Japón y Europa. Así mismo, una renovación del parque automovilístico es necesaria, en particular en España y en la EU, como se concluye tras un exhaustivo análisis publicado recientemente [36]. No es tanto el tipo de tecnología (MCI vs

Baterías), es más una cuestión de modernización de la tecnología actual.

Con respecto a los problemas de emisiones de gases de efecto invernadero (Global Warming Potential [GWP]), es bueno recordar que la contribución del transporte a las emisiones mundiales de GWP en toneladas equivalentes de CO_2 se ha mantenido históricamente en el 10%. Como se observa en la figura 5, elaborada por la FAO [37], la industria, la agricultura, la extracción de recursos, el procesado de basuras, la producción de energía (para entre otras cosas los sistemas de calefacción y el aire acondicionado en los hogares) hacen el resto. Por tanto, un cambio masivo mundial a vehículos eléctricos supondría una reducción potencial mundial de un 11% de las toneladas equivalentes de CO_2 que se emiten, y eso, en el caso de que los motores eléctricos cargasen la batería a partir de energía 100% limpia de CO_2 (renovables/nuclear) que sabemos no será así en el corto y medio plazo [18][23]. Es decir, hoy en día ese cambio drástico, con las subsiguientes emisiones de CO_2 que implicaría supondría una reducción de las emisiones de gases GWP menor del 11% del 10% del parque que usaría electricidad renovable, es decir, bastante menor de un ya pobre 1,1%.

En el futuro, a largo plazo, puede argumentarse que los automóviles eléctricos bajarán sustancialmente sus emisiones de CO_2 si la electrici-

dad proviniese de fuentes renovables o nucleares. Como se puede apreciar en la figura 6, pese a la gran dispersión de datos existente en las fuentes [46][19][21][22][23], este escenario está lejos de cumplirse en la actualidad en la mayoría de los países de la Unión Europea. Teniendo en cuenta países como España con alrededor del 35% de fuentes renovables en el mix, las emisiones equivalentes de CO₂ son ligeramente mejores que los modernos Diesel E6d Temp. Si hacemos una extrapolación a futuro, en el escenario central, necesitaríamos aumentar el mix de renovables por encima del 60% para tener una clara ventaja competitiva frente a las tecnologías de combustión con encendido por compresión (CI) en emisiones de CO₂. Incluso aunque llegásemos al 100% de renovables, los vehículos eléctricos no tendrían nunca cero emisiones equivalentes de CO₂.

Si uno imagina que un 60% de fuentes renovables en el mix energético fuera el estándar a medio-largo plazo, ¿podrían los MCI hacerlo tan bien? La respuesta es sí y mejor, si utilizamos combustibles sintéticos provenientes de la captura y uso de CO₂ (CCU) atmosférico [38]. Hay ya varios proyectos de I+D en Suiza, Alemania y Canadá centrados en CCU. Se trata de sistemas capaz de transformar el CO₂ tomado directamente del aire en combustibles líquidos llamados “PtX fuels” (*e-fuels*, incluido e-diésel). Esto se realiza mediante hidrogenación del CO₂ usando H₂ producido por electrolisis usando fuentes renovables [39]. También hay proyectos para bombear el CO₂ capturado de las centrales eléctricas a los pozos de petróleo y convertirlo posteriormente en petróleo neutral desde el propio punto de vista del CO₂. Incluso hay proyectos en los que los automóviles capturan parte de sus propias emisiones de CO₂ (junto con el CO₂ de la atmósfera) y realizan la conversión a bordo en combustible neutral de CO₂ [39]. De esa manera, la auto-CCU podría contribuir incluso a una reducción del CO₂ atmosférico. Si los combustibles utilizados en estos coches capturadores de CO₂ fuesen en su mayoría biocombustibles [40], como es el caso en Brasil, esto representaría una manera eficiente de eliminar el CO₂ de la atmósfera. Sin embargo, el desarrollo de esta tecnolo-

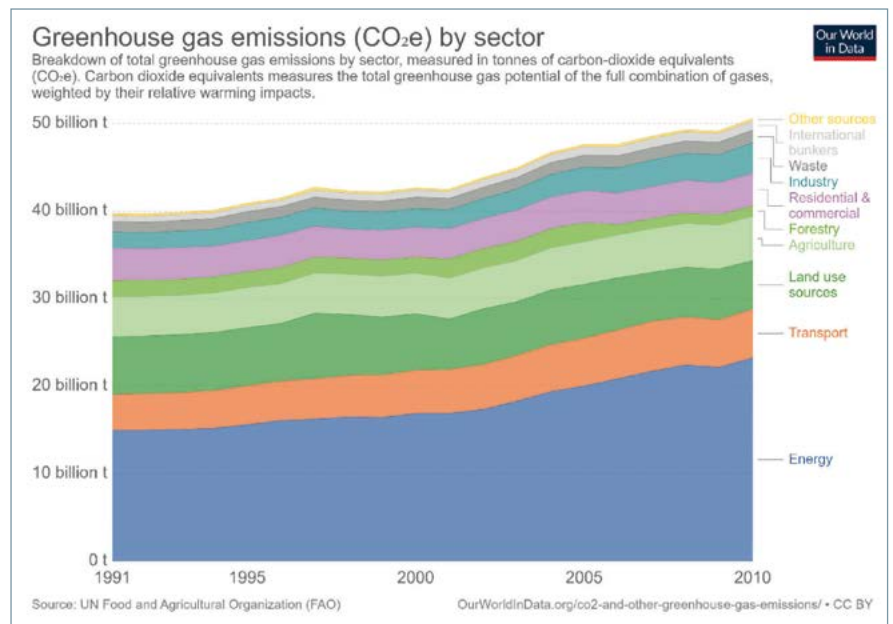


Figura 5. Emisiones de gases de efecto invernadero (GWP) en toneladas equivalentes de CO₂ por sectores [37].

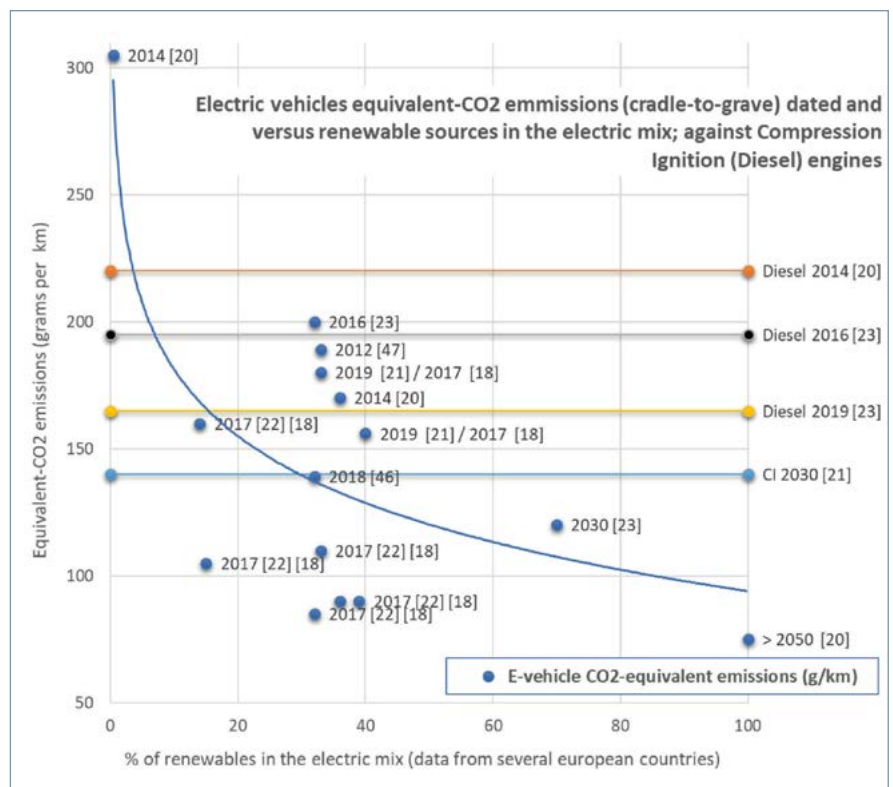


Figura 6. Emisiones de CO₂ equivalentes de la cuna a la tumba de los vehículos eléctricos en función del porcentaje de renovables en el mix energético. Comparación con los motores de encendido por compresión (CI) o diésel. Elaborado a partir de las referencias de esta publicación.

logía queda sujeto al aprovechamiento eficiente de la energía térmica residual de los motores [41]. En conclusión, si buscamos un cambio de paradigma, ¿Por qué no cambiamos nuestros ve-

hículos para que actúen como capturadores de CO₂ en las carreteras? Eliminarían el otro 90% del CO₂ (el de la industria, la agricultura, etc.) que el transporte terrestre no está produ-

ciendo [41]. Además, esto es algo que los motores eléctricos con baterías no pueden hacer.

El dinero público y los esfuerzos de los gobiernos deberían promover la investigación para reducir las emisiones contaminantes, en lugar de *elegir* a los ganadores para un futuro incierto. Los subsidios directos a cualquier industria o tecnología y la prohibición gratuita de otros, sin argumentos científicamente probados, es el tipo de ejercicio de riesgo que nunca ha tenido éxito. El propio Bundestag alemán en mayo de 2019 propuso que no se puedan prohibir los motores diésel E6d Temp en las ciudades alemanas, ni siquiera los E4 y E5 cuando emitan menos de 270 mgNOx/km (gracias a un posible *retrofit*), lo que está pendiente de certificarse por el Tribunal Supremo alemán [42]. En Francia se está estudiando dar la máxima calificación ambiental a los motores diésel E6d Temp tras constatarse que son tanto o más limpios que los motores de gasolina [43]. Parece que las autoridades europeas por fin empiezan a escuchar a científicos e ingenieros [44][45]. En general, promover actividades de investigación de cualquier tecnología, independientemente del campo de investigación, siempre ha brindado grandes beneficios para las generaciones futuras, y normalmente, ha sido lo más barato.

Referencias bibliográficas

- Serrano JR. "Imagining the Future of the Internal Combustion Engine for Ground Transport in the Current Context". *Applied Sciences*. Vol 7, 1001.
- "España pretende prohibir las matriculaciones de coches diésel, gasolina e híbridos a partir de 2040"; *El Mundo*; noviembre, 2018.
- "Dyson presses UK government for earlier petrol car ban". *Financial Times*, mayo de 2019.
- Brand C. "Beyond 'Dieselgate': Implications of unaccounted and future air pollutant emissions and energy use for cars in the United Kingdom" *Energy Policy*. 2016;97:1-12. 2016.
- Dey S, et al. "The potential health, financial and environmental impacts of Dieselgate in Ireland". *Transportation Planning and Technology*. 2019;41(1):17-36.
- Normativas de emisiones contaminantes en Europa (versión completa). <https://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php#stds>.
- Ming Z, et al. "Particulate Matter Emission Suppression Strategies in a Turbocharged Gasoline Direct-Injection Engine". *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power-Transactions of the ASME*. 2017;139(10):102801.
- Payri R, et al. "Impact of counter-bore nozzle on the combustion process and exhaust emissions for light-duty Diesel engine application". *International Journal of Engine Research*. 2019;20(1):46-57.
- Lapuerta M, et al. "High-pressure versus low-pressure exhaust gas recirculation in a Euro 6 Diesel engine with lean-NOx trap: Effectiveness to reduce NOx emissions". *International Journal of Engine Research*. 2019;20(1):155-63.
- M. Neaimeh, S. D. Salisbury, G. A. Hill, P. T. Blythe, D. R. Scofield, and J. E. Francfort, "Analysing the usage and evidencing the importance of fast chargers for the adoption of battery electric vehicles," *Energy Policy*. 2017;108:474-86.
- "Los coches eléctricos y su autonomía limitada"; Organización de Consumidores y Usuarios (OCU); Noviembre, 2017.
- Moeller S. "Autobahn Test: Tesla Model X beats Audi e-tron & Jaguar I-Pace"; *nextmove GmbH*. February 2019. Accesible en <https://nextmove.de/autobahn-test-tesla-model-x-beats-audi-e-tron-jaguar-i-pace/>
- Tang L, et al. "Battery Life Extending Charging Strategy for Plug-in Hybrid Electric Vehicles and Battery Electric Vehicles," *IFAC-Papers OnLine*. 2016;49(11):70-6.
- Polzin E, et al. "An accelerated calendar and cycle life study of Li-ion cells," *J Power Sources*. 2002;101(2):238-47.
- García F. "Alarma ante la posible escasez de baterías para vehículos eléctricos". *El Mundo*, 8 Mayo 2019.
- Fuentes V. "Tesla prevé una escasez mundial de minerales que son clave para fabricar las baterías de los coches eléctricos" *Motorpasion*, 2 de mayo de 2019.
- Broom D. "The dirty secret of electric vehicles". *World Economic Forum report*. 29 Marzo 2019. Accesible en <https://www.weforum.org/agenda/2019/03/the-dirty-secret-of-electric-vehicles/>
- BP Statistical Review of World Energy, June 2018. Accesible en <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
- Edwards R, et al. "Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context". Report EUR 26237 EN. JRC Technical Reports. European Commission. 2014. <http://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20190313STO31218/emisiones-de-co2-de-los-coches-hechos-y-cifras-infografía>
- Sinn H-W, et al. "Kohlemotoren, Windmotoren und Dieselmotoren: Was zeigt die CO2-Bilanz?". *Ifo Schnelldienst Vol 72, (08) pp. 40-54*, 2019.
- Maarten Messagie – Vrije Universiteit Brussel - research group MOBI "Life Cycle Analysis of the Climate Impact of Electric Vehicles". *Transport & Environment*. October 2017. <https://www.transportenvironment.org/publications/electric-vehicle-life-cycle-analysis-and-raw-material-availability>
- Blaich M. "El motor diésel y la conflictiva tendencia a la electrificación". *Interempresas*. 29 de enero de 2019. <http://www.interempresas.net/Sector-Automocion/Articulos/232843-El-motor-diesel-y-la-conflictiva-tendencia-de-la-electrificacion.html>
- <http://berkeleyearth.org/wp-content/uploads/2017/01/Europe-air-pollution.png>
- Boccardo G M, et al. "Experimental investigation on a 3000 bar fuel injection system for a SCR-free non-road Diesel engine". *Fuel*. 2019;243(1):342-51.
- Puskar M, Kopas M. "System based on thermal control of the HCCI technology developed for reduction of the vehicle NOx emissions in order to fulfil the future standard Euro 7". *Science of the Total Environment*. 2018;643(1):674-80.
- Lujan J M, et al. "An assessment of the real-world driving gaseous emissions from a Euro 6 light-duty Diesel vehicle using a portable emissions measurement system (PEMS)". *Atmospheric Environment*. 2018;174:112-21.
- Grigoratos T F, et al. "Real world emissions performance of heavy-duty Euro VI Diesel vehicles". *Atmospheric Environment*. 2019;201:348-59. <https://www.greencarcongress.com/2019/02/201902-22-adac.html>
- Huang Y, et al. "Fuel consumption and emissions performance under real driving: Comparison between hybrid and conventional vehicles", *Science of the Total Environment*. 2019;659(1):275-82.
- Qiao Q, et al. "Comparative Study on Life Cycle CO2 Emissions from the Production of Electric and Conventional Vehicles in China," *Energy Procedia*. 2017;105:3584-95.
- ACEA - The automobile Industry Pocket Guide 2018 - 2019. Accesible en: <https://www.acea.be/publications/article/acea-pocket-guide>
- Kan H, et al. "Ambient air pollution, climate change, and population health in China," *Environment International*. 2012;42(1):10-9.
- Mayer A, et. Al. "Erfahrungen mit Partikelfilter-Nachrüstungen bei Baumaschinen in der Schweiz". In *Proceedings of the FAD-Konferenz*. Dresden: FAD e.V.; 2003.
- Hull R. "Has the Government got it wrong on 'dirty Diesel' cars? Tests show some BMW, Mercedes and Vauxhall models produce almost ZERO harmful NOx emissions". *Dailymail*. 2019.
- Serrano J R, et al. "Impact on Reduction of Pollutant Emissions from Passenger Cars when Replacing Euro 4 with Euro 6d Diesel Engines Considering the Altitude". *Influence. Energies*. 2019;12(7):1278.
- Ritchie H, Roser M. "CO and other Greenhouse Gas Emissions". *Our World in Data*. May 2017. Accesible en <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions> [Recurso online].
- Cormos A M, Cormos C C. "Techno-economic evaluations of post-combustion CO2 capture from sub- and super-critical circulated fluidized bed combustion (CFBC) power plants". *Applied Thermal Engineering*. 2017;127(25):106-15.
- Dr. Ulrich Kramer "Defossilizing the transportation sector. Options and requirements for Germany". *FVV PRIME MOVERS. TECHNOLOGIES*. 2018. FVV / SCHAEFFLER.
- Hamad E Z, Al-Sadat W I. "Apparatus and Method for Oxy-combustion or Fuels in Internal Combustion Engines". *US Patent US 2013/0247886 A1*. Sept. 26, 2013.
- Sun H, et al. "The practical implementation of methanol as a clean and efficient alternative fuel for automotive vehicles", *International Journal of Engine Research*. 2019;20(3):350-8.
- Desantes J M, et al. "Motor de Combustión Interna". *P201930285*. OEPM Madrid. Mar 28, 2019.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Bundestag beschließt einheitliche Regeln für Umgang mit Verkehrsverboten. Diesel-PKW dürfen nach erfolgreicher Hardware-Nachrüstung weiter einfahren. 14.03.2019. Pressemitteilung Nr. 032/19. Luftreinhaltung.
- Diesel International. Euro 6D-Temp Diesel like petrol. France tries to adapt the anti-pollution stamps. The idea is to bring the Diesel back to the first class. January 2019.
- Wissenschaftliche Gesellschaft für Kraftfahrzeug- und Motorentechnik e.V. (WKM) *The Future of the Combustion Engine / Assessment of the Diesel Engine Situation*. June 2017.
- Aparicio F, et al. "El automóvil en la movilidad sostenible" Informe ASEPA. ASEPA. Julio 2018.
- Troy R. Hawkins, Bhawna Singh, Guillaume Majeau-Bettez, and Anders Hammer Strømman "Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles". *J Industrial Ecology*. 2012;17(1):53-64.