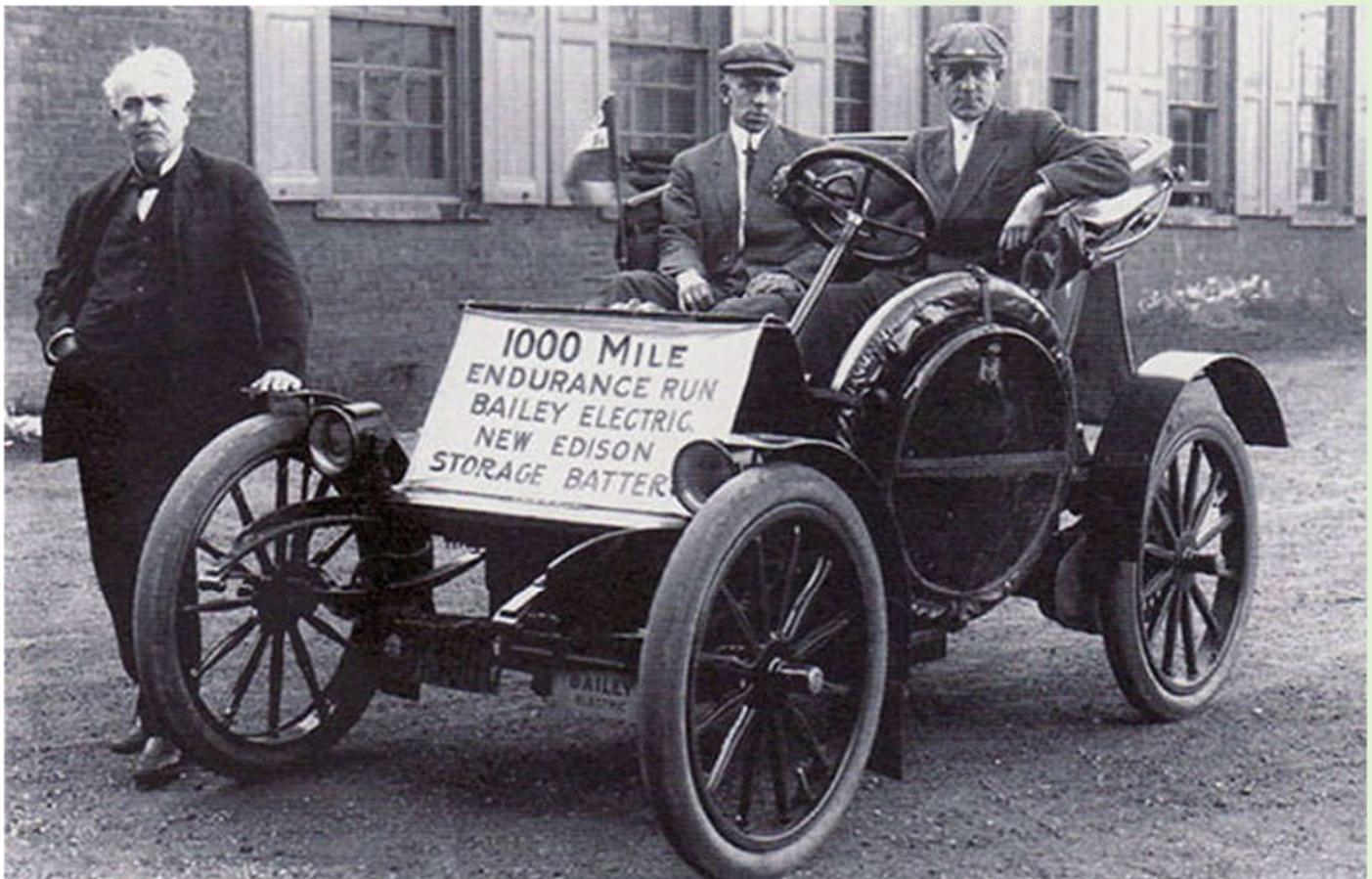


CONSIDERACIONES SOBRE LA TRANSICIÓN AL VEHÍCULO ELÉCTRICO

O CÓMO EMPEZAR LA CASA POR EL TEJADO



Curso: Postgrado Senior de la UJI

Autor: Cruz Vivas Batalla

Castellón, mayo 2020

A Miquel Andreu, el tutor de este trabajo
por las consideraciones siempre oportunas
y por sus sugerencias siempre adecuadas.
Vaya para él mi más especial reconocimiento.

Índice

1.	Introducción.	pág. 1
2.	Los Gobiernos toman decisiones.	pág. 3
3.	El sector de la automoción en el contexto económico mundial.	pág. 6
3.1.	Un sector industrial muy concentrado.	pág. 6
3.2.	Consecuencias de la concentración.	pág. 9
3.3.	Producción mundial.	pág. 12
3.4.	Innovaciones y tendencias en curso.	pág. 14
3.5.	La simetría histórica como método de prognosis.	pág. 18
4.	Reseña histórica del desarrollo de los motores.	pág. 22
4.1.	El movimiento alternativo y el movimiento rotativo.	pág. 22
4.2.	Motores térmicos.	pág. 23
4.2.1.	Motores de combustión externa. La máquina de vapor.	pág. 23
4.2.2.	Motores de combustión interna. Motores de explosión.	pág. 24
4.3.	La física, la química y la termodinámica de los motores térmicos. Rendimiento.	pág. 26
4.4.	El combustible en los motores térmicos.	pág. 32
4.5.	El motor eléctrico.	pág. 36
4.5.1.	El vehículo eléctrico.	pág. 36
4.5.2.	Simplicidad mecánica y versatilidad. Rendimiento de los motores eléctricos.	pág. 41
4.5.3.	Las pilas de hidrógeno. Una opción poco desarrollada.	pág. 44
4.5.4.	Las baterías recargables. La autonomía, un problema no resuelto.	pág. 54
5.	El Vehículo eléctrico como alternativa. Ventajas e inconvenientes.	pág. 62
5.1.	Comparativa del motor de combustión con el motor eléctrico.	pág. 62
5.2.	Comparativa del vehículo de combustión con el vehículo eléctrico.	pág. 63
5.3.	El vehículo híbrido como solución transitoria.	pág. 64
6.	Las consideraciones medioambientales como causa inductora.	pág. 67
6.1.	El cambio climático. El dilema del estudiante.	pág. 67
6.2.	La contaminación atmosférica. La variante del dilema del prisionero.	pág. 72
7.	El vehículo eléctrico como solución respetuosa con el medio ambiente.	pág. 75
7.1.	Operatividad. La recarga de las baterías.	pág. 75
7.2.	La reconversión de las gasolineras en electrolineras. El tiempo y el espacio.	pág. 79
7.3.	Comparación del coste operativo del vehículo eléctrico frente al vehículo convencional.	pág. 83
7.4.	El costo de producción del vehículo eléctrico frente al convencional. Economías de escala.	pág. 85
8.	Repercusiones colaterales. Amenazas y oportunidades.	pág. 87
8.1.	Relocalización de las plantas de producción de vehículos.	pág. 87
8.2.	Nuevas plantas de fabricación de baterías.	pág. 88
8.3.	Consumo actual de petróleo en el sector del transporte.	pág. 90
8.4.	Incremento previsible del consumo eléctrico. Centrales nucleares, centrales térmicas y energías renovables.	pág. 92

8.5.	Repercusión de la pérdida de recaudación fiscal por el impuesto sobre hidrocarburos.	pág. 95
9.	Nuevas tendencias sociales.	pág. 98
9.1.	Concentración de la población mundial en áreas urbanas. Consecuencias.....	pág. 98
9.2.	Cambios en el modelo urbanístico. Las urbanizaciones periféricas y el <i>american way of life</i>	pág. 99
9.3.	La movilidad en las ciudades.	pág. 100
9.4.	¿Siempre tiene sentido la propiedad del vehículo en exclusiva? Nuevas formas de uso compartido.	pág. 103
10.	¿Se cumplirán las previsiones?	pág. 105
10.1.	Producción mundial de vehículos eléctricos. Presente y futuro.....	pág. 105
10.2.	El caso español. Presente y futuro.	pág. 109
10.3.	El caso europeo. Presente y futuro.....	pág. 112
10.4.	La innovación. Ciclo de sobreexpectación. Gráficos de Gartner y de Rogers.....	pág. 114
10.5.	Tecnología por encargo.....	pág. 117
10.6.	La carrera de la investigación en las baterías recargables.....	pág. 118
10.7.	La innovación, la disrupción y el proceso. Tres ejemplos y tres discrepancias.	pág. 120
10.8.	La casa y el tejado.	pág. 123
11.	Conclusiones.	pág. 125
12.	Bibliografía.	pág. 128
13.	Webgrafía.	pág. 132
14.	Índice de imágenes.	pág. 133

1. Introducción

Al plantear este o cualquier otro tema de investigación, una de las primeras cuestiones que surgen es delimitar el alcance y determinar el enfoque que se le quiere dar al cometido de que se trate.

En este caso, en cuanto al alcance es claro que los objetivos son limitados y no se pretende acometer una visión exhaustiva de un tema, la transición al vehículo eléctrico, que por su repercusión y por su complejidad rebasaría el objetivo propuesto (del estudio). De ahí el título “Consideraciones...” ya es de por sí una declaración de intenciones a fin de no crear expectativas infundadas.

En cuanto al enfoque, lo primero que se pretende es dar una visión de conjunto sobre los aspectos principales que intervienen en el proceso estudiado. El Índice del trabajo da cuenta de ello. Por supuesto que algunos de los temas y subtemas abordados darían para estudios en exclusiva, pero en este caso, la idea ha sido ofrecer una perspectiva general que abarque los aspectos de la transición al vehículo eléctrico. Se trata de cuestiones cuya repercusión va más allá del vehículo eléctrico considerado como un todo y como un fin y sin las cuales no puede entenderse en todas sus consecuencias.

En cuanto al método, parece claro que el sistema convencional de un análisis de causa/efecto es insuficiente para abordar un tema complejo como este. No se trata tan solo de que unas causas concretas producen unos efectos determinados; se trata de que en este caso las causas y los efectos se interfieren de manera que los efectos también pasan a ser causas y viceversa en una relación casi circular. Planteado en abstracto puede resultar un razonamiento ininteligible, pero si entramos en aspectos concretos la cosa puede quedar más clara.

Pensemos en los factores más importantes que entran en juego en la transición del vehículo eléctrico: las repercusiones económicas, la política medioambiental, la política industrial, la política energética, la demografía, la movilidad en las ciudades, el urbanismo, etc. Es evidente que hay interrelación entre todos ellos y que se influyen y se interfieren entre sí, lo cual condiciona todo el proceso y sirve para entenderlo mejor. Por tanto, sin atender a estos aspectos, sería difícil valorar la complejidad y la trascendencia que la implantación del futuro vehículo eléctrico va a tener en todos los ámbitos.

Partiendo de estas premisas, este trabajo incide más en la síntesis que en el análisis. Los trabajos de análisis profundizan en el tema de que se trate y son propios de especialistas en cada campo y suele haberlos en abundancia. Los trabajos de síntesis relacionan los aspectos diversos o colaterales relacionados con el tema. Son propios de generalistas y abundan menos.

En consecuencia, se ha tratado de indagar en el cómo y del por qué del vehículo eléctrico buscando la interrelación de cuestiones aparentemente inconexas. El peligro asumido es que, al no centrarse exclusivamente en el tema, en ocasiones se ha incidido en cuestiones dispersas y aspectos de detalle, incluso en ocasiones anecdóticos, que habitualmente no se tratarían en trabajos especializados de más calado. Con ello tal vez se pierda coherencia en la línea expositiva, pero también pueden tener algún interés y ser útiles para situar el vehículo eléctrico en un contexto más amplio que la mera exposición descriptiva centrada

únicamente en la transición que se avecina. En cualquier caso, las cuestiones que se abordan, a efectos de comprensión, están organizados en capítulos y subcapítulos independientes y corresponderá al presunto lector elegir o prescindir de los que considere oportunos.

Finalmente, puede ser que algunas de las ideas aportadas sean discutibles y seguro que algunos datos quedarán obsoletos porque por la propia dinámica de los hechos están en revisión permanente, pero todo eso entra dentro de lo opinable y es precisamente lo que ha pretendido el autor: avivar un debate y aportar una visión global que para algunos pueda ser de interés.

Al menos esa ha sido la pretensión.

2. Los Gobiernos toman decisiones.

En los últimos años se han producido acontecimientos trascendentes en el sector de la automoción que, en el futuro inmediato, van a tener gran repercusión a escala mundial. En los países más desarrollados se ha ido consolidando la preocupación por las cuestiones medioambientales, y este estado de opinión ha tenido como consecuencia que los países europeos más importantes han establecido sus propios programas para abordar el cambio climático. La transición al vehículo eléctrico es uno de las consecuencias más visibles derivadas de ese proceso.

Para responder a la amenaza del cambio climático la Comisión Europea está coordinando la transición energética hacia una energía limpia en línea con el cumplimiento de los objetivos establecidos en el Acuerdo de París 2015. Se pretende sustituir progresivamente las fuentes de energía fósiles que producen GEI (gases de efecto invernadero) por energías renovables sin emisiones. Para cumplir ese objetivo la Comisión Europea presentó en noviembre del 2016 la propuesta indicativa denominada *Energía Limpia para todos los europeos*. Los aspectos fundamentales de la propuesta figuran en la siguiente tabla.

Objetivos 2020	20% reducción de emisiones de GEI frente a niveles de 1990	20% de energías renovables en la UE	20% de mejora de la eficiencia energética	
Objetivos 2030	40% reducción de emisiones de GEI frente a niveles de 1990	32% de energías renovables en la UE	32,5% de mejora de la eficiencia energética	15% para interconexiones eléctricas
Objetivos 2050	85-90% reducción de emisiones de GEI frente a niveles de 1990			

Tabla 1. Objetivos energéticos europeos incluidos en la propuesta: *Energía limpia para todos los europeos*. Fuente RRE (Red Eléctrica de España)

Para cumplir con este mandato, el Gobierno de España publicó en febrero del 2019 su borrador del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC 2021-2030), que ha sido remitido a la Comisión Europea y cuya versión definitiva debería aprobarse antes de final de año. Los objetivos planteados en el PNIEC 2021-2030 para la transición energética pretenden conseguir una economía prácticamente descarbonizada en 2050 y se concretan en los siguientes aspectos:

- Reducción de emisiones del 21% respecto de los niveles de 1990.
- Cuota de renovables del 42% sobre la energía final.
- Mejora de la eficiencia energética del 39,6%.
- Previsión de que la contribución de las renovables en el mix eléctrico alcance el 74% en el 2030.

Se trata de objetivos a medio plazo muy ambiciosos, cuyo cumplimiento está por ver y que en cualquier caso requerirán decisiones e inversiones muy importantes. La Comunidad Europea prevé aprobar un presupuesto de ayuda a la transición, pero obviamente el peso económico fundamental va a ir a cargo de los países respectivos.

Dentro de ese programa general hay un apartado específico dedicado al transporte y a la movilidad como grandes emisores que son de GEI. Las decisiones adoptadas en cada país varían según su situación y sus expectativas, pero todos tienen en común el mismo objetivo que es la sustitución de los vehículos convencionales que consumen hidrocarburos derivados del petróleo, (gasolina, gasóleo o gases licuados del petróleo) por vehículos eléctricos, que no tiene emisiones directas.

En nuestro país, el Gobierno quiere establecer por ley la transición al vehículo eléctrico. Para ello en borrador presentado en noviembre de 2018 por el Ministerio para la Transición Ecológica hay un apartado específico que afecta directamente al sector del automóvil con dos medidas muy concretas:

1º) A partir de 2040 no se permitirá la matriculación de turismos y vehículos comerciales ligeros que produzcan emisiones "directas" de dióxido de carbono. Esto significa que los vehículos con motores de gasolina o gasóleo no podrán comercializarse a partir de esa fecha, incluidos los híbridos. Por tanto, los nuevos vehículos habrán de ser eléctricos, y en consecuencia la producción de las fábricas suministradoras de los países afectados por esta medida deberá adaptarse a la nueva situación.

2º) A partir de 2050 se prohibirá la circulación de turismos y vehículos comerciales ligeros que produzcan emisiones directas de dióxido de carbono. Esto significa que se establece un periodo de transición de diez años comprendido entre 2040 y 2050 durante el cual habrá que sustituir todo el parque residual que no cumpla el requisito de emisiones. Por tanto, a partir de 2050, todo el parque de vehículos en circulación será eléctrico.

El documento presentado solo es un borrador del Proyecto de Ley que habrá de aprobarse en su momento y al que, por su gran trascendencia, cabe imaginar una tramitación larga y complicada, incluso con modificaciones más o menos sustanciales. Así pues, al tratarse de un borrador, el documento carece de validez legal pero su mera presentación ya ha creado una enorme convulsión en el sector automovilístico por las repercusiones que tiene en el empleo, en la producción industrial y en las exportaciones.

Hay que entender que esta situación no solamente se produce en España pues los otros países europeos, con algunas diferencias menores en cuanto a fechas, están coordinados con el mismo objetivo. Una actuación en un solo país no tendría la repercusión suficiente, pero tomado en conjunto los mercados de estos países ya es lo bastante importante como para que la industria lo tome en consideración.

A las decisiones de aplicación general que corresponden a los gobiernos nacionales hay que añadir las disposiciones restrictivas que muchas ciudades importantes han tomado en su ámbito de competencia. Se adjunta una tabla referente a algunas ciudades europeas que son representativas al respecto. Los datos y las fechas probablemente estén sometidos a variaciones y rectificaciones, pero lo sustancial es que, con

independencia del detalle, estamos en un proceso imparable para la restricción del vehículo convencional y que ya hay ciudades con ordenanzas municipales aprobadas en que se aplican restricciones. En España sucede en Madrid y en Barcelona, en Europa también en varias otras ciudades importantes.



Figura 1. Publicado en ABC el 28 febrero 2018.

España tiene un sector automovilístico potente, con mucho peso en la economía nacional. Representa aproximadamente el 10% del Producto Interior Bruto (PIB), emplea al 9% de la población activa y supone el 18% de las exportaciones totales de España. Todas ellas son cifras muy importantes que deben ser tenidas en cuenta. La industria del motor, que está agrupada en la Asociación de Fabricantes de Automóviles y Camiones (ANFAC), ha hecho varios comunicados sobre esta cuestión y dentro de la moderación que le es propia, han mostrado su reticencia ante las declaraciones institucionales que no pasan de ser declaración de intenciones pero que crean gran incertidumbre en el sector y en los usuarios.

Análogamente también ha habido declaraciones del representante de la patronal europea de fabricantes (ACEA). En este caso han sido más contundente alertando de los riesgos que se avecinan para la industria europea y pidiendo que no se repitan errores como los que se cometieron al incentivar los vehículos Diésel. (*El País*, 12 de mayo 2019).

La preocupación en la industria es evidente y es general, pero ha reaccionado con presteza porque tienen claro que estamos ante un proceso irreversible y hay que afrontarlo activamente. Consecuentemente todas las marcas importantes han establecido planes de contingencia y están desarrollando una nueva generación de vehículos eléctricos que pronto saldrán al mercado. Saben que no hacer nada no es una opción y que el que así lo hiciera, caería en la irrelevancia.

3. El sector de la automoción en el contexto económico mundial.

El sector de la automoción es el sector industrial más importante a escala mundial si se tiene en cuenta el valor de la producción y el empleo que genera, tanto directo como indirecto. Sus productos están en cualquier lugar del mundo bajo infinidad de marcas y modelos, pero esa diversidad es solo aparente puesto que la mayoría de las marcas comerciales están integradas en grandes grupos industriales que en el diseño de las estrategias y en la toma de decisiones actúan con visión global, incluso cuando afectan al ámbito local.

3.1 Un sector industrial muy concentrado. Evolución histórica.

La concentración del sector ha sido un proceso progresivo que, visto retrospectivamente, era inevitable.

La historia del automóvil empieza a ser relevante a partir de 1900, cuando pasó de ser una curiosidad mecánica a una propuesta real de movilidad. En los países industrializados de Europa y en los E.E.U.U. surgieron muchas marcas, la mayoría de las cuales eran poco más que talleres con métodos de producción artesanales con lo cual el producto resultante era muy caro y solo estaba al alcance de muy pocos.

La gran revolución del sistema de producción la produjo Henry Ford, al introducir la cadena de montaje para producir el famoso modelo "T", basada en la división de las tareas del proceso de producción. En 1906 salieron los primeros automóviles fabricados con este sistema a razón de 1.000 unidades diarias. Era un diseño innovador para la época, con un motor de 20 C.V. de 2.900 cm³ que alcanzaba 71 km/hora de velocidad, con un consumo de 20 litros de gasolina por cada 100 km. Comparar estos datos con los de los vehículos actuales da la medida de la evolución del sector en los últimos cien años.



Figura 2. Ford T. Salida de cadena de producción Wikipedia.



Figura 3. Ford T Modelo 1910 Wikipedia.

La producción en serie abarataba los costos y el precio de venta más asequible permitió el acceso a las clases medias, pero también supuso el cierre de muchas pequeñas marcas que no podían competir con los nuevos sistemas de producción en masa.

Henry Ford, por sus aportaciones, tiene un lugar destacado en la historia industrial y aunque es menos conocido, también fue un innovador en las técnicas comerciales que entonces, como ahora, ya eran importantes en este sector. Cuando se produjo el lanzamiento del Ford T el precio inicial fue de 850 US\$. El éxito fue inmediato y por tanto la producción pasó de 1.000 vehículos/día a 4.000 vehículos/día. Como consecuencia, las economías de escala permitieron a la Ford reducir progresivamente el precio inicial hasta los 250 US\$ finales con lo cual distorsionó el mercado. La competencia, ante la imposibilidad de competir por precio, intentó aprovechar la política de bajadas de precio para crear incertidumbre y aconsejaba a los compradores potenciales aplazar o no comprar un Ford porque el precio bajaría. La respuesta fue inmediata: Ford resarciría a los compradores que lo solicitaran de la siguiente bajada de precio que se produjera en un plazo determinado. Ante esta política comercial no había respuesta fácil.

El Ford T dejó de fabricarse en 1927 con 15.007.033 unidades vendidas en diecinueve años. Actualmente aún sigue siendo uno de los coches más vendidos –el noveno de la historia.

Al menos 100 empresas automotrices habían comenzado operaciones en Detroit para el inicio del s. XX, pero para finales de la década de 1920 los "tres grandes", Ford, Chrysler y General Motors se consolidaban, siendo Ford el más grande por el momento. Muchas pequeñas empresas artesanales desaparecieron al no poder competir, otras de las que sobrevivieron se agruparon en los años veinte creando la General Motors, que acabó siendo durante varias décadas el mayor fabricante mundial. Adoptaron los métodos de producción en cadena e iniciaron un proceso de fusiones y absorciones para racionalizar la gestión y obtener economías de escala. Este proceso de concentración ha tenido continuidad, no solo en E.E.U.U., sino también en todo el mundo, y cada vez a mayor escala con partícipes de mayor dimensión.

Ha sido un proceso incesante y creciente cuyas causas principales están en la globalización de la economía mundial y en el aprovechamiento de las oportunidades que se ofrecían.

La pujanza del sector trascendió a otros ámbitos, un ejemplo claro es la novela escrita por Aldous Huxley 1931 "Un mundo Feliz", importante en la historia de la literatura del siglo XX, donde describe un inquietante mundo futuro que toma la revolución fordiana como referencia y cuyos miembros se identifican haciendo la señal de la "T".

En el campo de la Arquitectura otro ejemplo lo encontramos en el rascacielos Chrysler en Nueva York, toda la ornamentación hace referencia al automóvil, símbolo por excelencia de la era de la máquina. Tapacubos metálicos, gárgolas con las formas de los tapones de radiador de la propia marca, guardabarros de coche y ejes metálicos sirven como decoración en el más puro estilo Art Déco

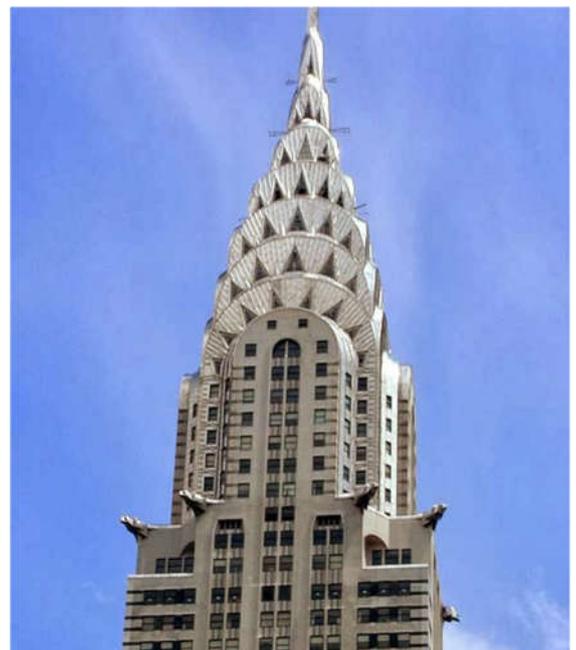


Figura 4. Remate del Edificio Chrysler en Nueva York

Durante el primer tercio del s.XX, y hasta después de los años cuarenta, cuando se iban normalizando las secuelas de la segunda guerra mundial, solamente los países más industrializados disponían de industria automovilística propia que atendía prioritariamente al mercado interior. El comercio internacional era muy reducido y estaba grabado con aranceles muy elevados. E.E.U.U. era el mayor productor mundial, tenía el mayor parque de vehículos y un mercado interior pujante basado en el segmento medio/alto y que desconfiaba de la calidad del producto extranjero.

Cuando todavía no habían aparecido Japón, ni por supuesto Corea, Europa, considerada en conjunto, era el segundo mercado mundial tanto en producción como en ventas y estaba recuperándose con rapidez. Las fábricas de la preguerra se reconstruyeron con rapidez para abastecer los mercados nacionales, que pronto se mostraron insuficientes para dar salida a la producción creciente, mientras otros mercados potencialmente interesantes estaban cerrados por cuestión de aranceles. La bonanza económica de Europa occidental consolidada a partir de los años cincuenta propiciaba la demanda y la industria estaba en condiciones de satisfacerla. La cuestión era el cómo y la respuesta fue la deslocalización. Entonces ya había varias razones para ello que se han confirmado con el paso el tiempo; posteriormente han aparecido otras nuevas que refuerzan las iniciales:

- En un mercado cada vez más competitivo las economías de escala, progresivamente, se evidencian como una necesidad para reducir los costos unitarios. Comprenden los costos de investigación y desarrollo (I +D), los de gestión, los de producción, las redes comerciales y otros más, sin olvidar la innovación (i), que es el tercer sumando de la ecuación del avance tecnológico, tan importante para el futuro de las empresas. La inversión necesaria para el lanzamiento de un nuevo modelo es tan elevada que para ser rentable requiere producciones masivas. Evidentemente el tamaño importa y el aumento es la respuesta.
- El aumento indefinido de la dimensión de las plantas de producción generalistas con integración de modelos y actividades diversos dejan de ser el modelo más eficiente, en favor de plantas más pequeñas especializadas en una parte de la producción.
- Estas nuevas plantas de nueva construcción pueden ubicarse en otros países que ofrezcan facilidades de implantación y mano de obra más barata que el país de origen. Pero, sobre todo en el inicio, lo más importante era que ofrecieran mercado a su producto que de otra manera estaría cerrado o al menos con acceso limitado.
- En Europa se produce un proceso creciente de integración económica que culmina en la Unión Europea basada en la libre circulación de personas, bienes, servicios y capitales, que también favorece la deslocalización. La Unión Europea fue el primer destino de la deslocalización, pero la globalización ha alcanzado a otros países que son otros mercados.

Un proceso paralelo se ha producido a escala mundial, sobre todo con las empresas japonesas.

España era y sigue siendo un caso paradigmático del problema y de la solución. A finales de los años cuarenta el parque disponible estaba totalmente agotado por falta de reposición durante la guerra civil y la guerra mundial. Previamente había habido alguna experiencia industrial con cierto éxito con la marca Hispano Suiza y en también, aunque en menor grado, con la marca Elizalde, pero en ambos casos no lograron superar la barrera que separaba la producción artesanal de la producción en masa lo cual los llevó a la desaparición.

Había necesidad de atender a la demanda potencial que se estaba creando y había urgencia en reponer el parque de vehículos existente, totalmente deteriorado por falta de reposición. Debido a la gran escasez de divisas, el país no podía recurrir a la importación y la solución era implantar la producción nacional. Para ello en 1950 se constituyó la empresa SEAT, (Sociedad Española de Automóviles de Turismo), con seiscientos millones de pesetas de capital social, del cual el 93% de capital nacional y el 7% de Fiat que, además, era el socio industrial. La empresa desde entonces ha tenido muchas vicisitudes, empezó fabricando bajo licencia Fiat y actualmente es propiedad de Volkswagen al 100%, que la gestiona como marca independiente.

3.2 Consecuencias de la concentración.

El aumento de tamaño mediante la concentración ha sido un condicionante necesario para el progreso o incluso para la mera supervivencia de las empresas que eran capaces de hacerlo. Otras que no lo eran han sido absorbidas por las empresas mayores; y otras han desaparecido o mantienen una vida lánguida en nichos específicos del mercado con poca relevancia.

La mayoría han sido absorbidas, pero hay casos especiales como el Reino Unido que fue un país puntero en el inicio del automóvil, cuya industria autóctona ha desaparecido en beneficio de las marcas foráneas que se han apropiado de ellas, más por prestigio que por otra cosa. Es el caso de la división automovilística de Rolls Royce por BMW, (siglas en alemán de *Bayerische Motoren Werke*) en 2003 o el de Bentley, la otra marca británica de gran lujo, que desde 1998 pertenece al grupo Volkswagen. Otros fabricantes de lujo de pequeña dimensión han seguido el mismo proceso.

Pero además hay efectos secundarios que probablemente no estaban en el propósito inicial pero que ahora son importantes. Los centros de decisión ya no pertenecen exclusivamente a los países en los cuales están implantadas las marcas, ni siquiera están vinculados a los países donde se crearon, tienen autonomía propia. Esto les convierten en interlocutores privilegiados de los estados en los que están instalados e incluso puede llegar a condicionar en beneficio propio las políticas industriales que les afecten.

El establecimiento de una planta de producción supone un gran estímulo para el progreso del empleo y de la economía de la zona de que se trate, pero eso lo saben y cuando se tiene poder se acaba

ejerciendo en forma de trato privilegiado. Pero es que, además, la descolocación de la producción en plantas en diversas ubicaciones y en diversos países incita a la competencia entre ellos y esa es un arma que las multinacionales del sector administran con destreza.

En los años sesenta las empresas francesas tenían concentrada la producción en grandes plantas nacionales desde las que abastecían a la demanda mundial. Una oleada de huelgas laborales prolongadas consiguió en algunos casos paralizar casi totalmente la producción e hizo tambalear las marcas. Ahora eso sería mucho más difícil dado que está implantada y diversificada en varios países y la unión sindical ha dejado de ser efectiva. La producción de automóviles franceses, fabricados a nivel mundial a lo largo de 2012, fue de 5.576.308 unidades fabricadas en Francia y 3.929.533 fuera del país.

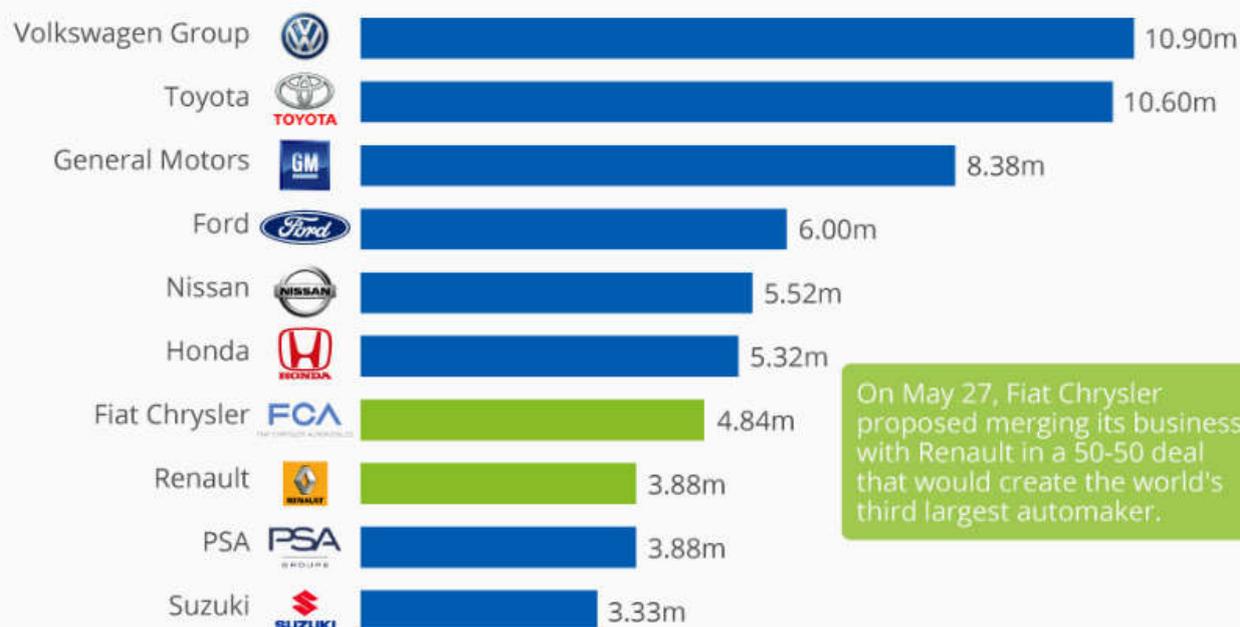
Actualmente, con la deslocalización, los sindicatos de las empresas multinacionales de la automoción han perdido su capacidad reivindicativa por cuanto siempre tienen la amenaza de que la asignación del próximo modelo está supeditada a la paz social y a la aceptación de las condiciones laborales que convengan al caso. Todo ello cuenta además con la complicidad o al menos con la pasividad de los gobiernos que no quieren poner en riesgo un sector económico tan importante.

Además, hay otro aspecto importante: el efecto fiscal. Las empresas multinacionales y no solo las del sector automovilístico, tienen la posibilidad de organizar la producción según su criterio y a asignar los precios de intercambio entre las plantas a su conveniencia. El resultado es que estas empresas dispersan de la producción en varios países y pueden aflorar los beneficios en los que mejor les convenga por el tratamiento fiscal más favorable.

Estas ventajas obtenidas por la concentración refuerzan la posición de las empresas multinacionales y el proceso se retroalimenta porque la dimensión también es necesaria para beneficiarse de las economías de escala y para acometer los proyectos de I+D+i, que son muy caros pero imprescindibles para afrontar el futuro. Las barreras de entrada en el sector son tan altas y las ventajas del proceso tan evidentes que solo cabe que continúe. Que cese es impensable.

The World's Largest Car Manufacturers

The world's largest automobile manufacturers based on 2018 unit sales*



On May 27, Fiat Chrysler proposed merging its business with Renault in a 50-50 deal that would create the world's third largest automaker.



* sales figures for Toyota, Nissan, Honda and Suzuki refer to the fiscal year ending March 31, 2019

Source: Company Data

statista

Figura 5. Mayores fabricantes de vehículos a nivel mundial. Statista.

La tabla proporciona la producción de los diez mayores grupos automovilísticos que no incluyen a los fabricantes chinos ordenados en orden decreciente. Es destacable que estas diez empresas producen 62,650 millones de vehículos, que representan aproximadamente dos tercios de la producción mundial, lo cual da una visión muy clara del grado de concentración del sector.

Puede resultar sorprendente la ausencia de dos grupos tan conocidos como BMW y Mercedes Benz, pero ello se explica porque ambos están especializados en el segmento más alto, con precios altos y producción media. Si la clasificación se hiciera atendiendo al valor de venta, evidentemente, subirían muchos puestos.

En consecuencia, estamos a la vista de un sector industrial altamente globalizado con centros de decisión que superan las barreras nacionales y que está adaptándose continuamente a las condiciones cambiantes del mercado. Únicamente China, la gran potencia emergente, debido a su particular sistema político y a la dimensión de su mercado nacional queda relativamente al margen de estos planteamientos, con una economía altamente centralizada y planificada con criterios políticos.

3.3 Producción mundial.

Al contrastar los datos disponibles de la producción mundial de vehículos se advierten algunas discrepancias según cual sea la fuente de procedencia. Son estadísticas que probablemente parten de supuestos poco homogéneos lo cual introduce imprecisión. Por tanto, más que la concreción del dato hay que atender al orden de magnitud que es lo que nos puede dar la visión general del sector.

Entre otras cifras más o menos aproximadas procedentes de fuentes distintas, tomo en consideración la el informe sobre automoción elaborado por la consultora Torres y Carrera recogido por de OK Diario (09/06/2019). Según ese informe, en 2018 la cifra de vehículos producidos en el mundo fue de 95.634.593 unidades (956.345 menos que en 2017), de los que 2.819.565 vehículos se fabricaron en España, un 1 % menos en línea con el descenso mundial pero mejor que otros países de nuestro entorno.

Desglosado por países China que ya es el mayor productor mundial, tuvo el año pasado la caída mayor desde 2008, con una producción de 27.809.196 unidades, un 4,2 % menos que 2017.

En Estados Unidos, el segundo gran productor, se fabricaron 20.727.528 vehículos en 2018, un 0,4 % más que en 2017 debido al incremento de los vehículos comerciales (12.470.675 unidades) mientras que los automóviles dedicados al uso particular sufrieron descensos.

En Europa en 2018 también hubo descensos significativos en la producción. Alemania, tuvo un descenso del 9,3 %; Reino Unido el 8,6 %; e Italia el 7,2 %.

La producción mundial registró caídas en casi todos los tipos de vehículos: camiones (2,9 %), autobuses (6,8 %) y turismos (3 %). Tan solo creció la producción de los vehículos comerciales ligeros, con un incremento global del 4,2 % en comparación con 2017.

Cabe señalar que, según esos datos, en 2018 la producción española respecto a la producción mundial es casi el 3% (2'94%), bastante por encima del peso económico español respecto a la economía mundial. Según la OCDE el PIB español en 2018 fue de 1'419 billones \$ frente a 80'951 billones de \$ del conjunto de la economía mundial. Por tanto, la participación nacional en el PIB mundial es del 1'75% en comparación del 2.94% con el sector automovilístico, lo cual es un indicador claro de la importancia que el sector tiene para el país.

La analista Yaiza Ejapa Luque autora del informe, resalta un aspecto novedoso por cuanto la caída de la producción en 2018 interpreta que la industria automovilística se enfrenta con un cambio de paradigma no es consecuencia de una crisis económica como sucedió en 2008, sino debido a nuevas percepciones basadas en nuevos hábitos.

Por su interés se incluyen a continuación dos infografías de la evolución del sector a escala mundial. Abarcan solamente desde 1950 hasta 2013 pero se pueden complementar con los últimos datos conocidos. El propio autor advierte discrepancias en los datos de partida, pero en cualquier caso para el análisis tan importe como el dato lo es la tendencia.

La primera infografía da cuenta de la evolución de la producción mundial de vehículos por países desde 1950 a 2013.

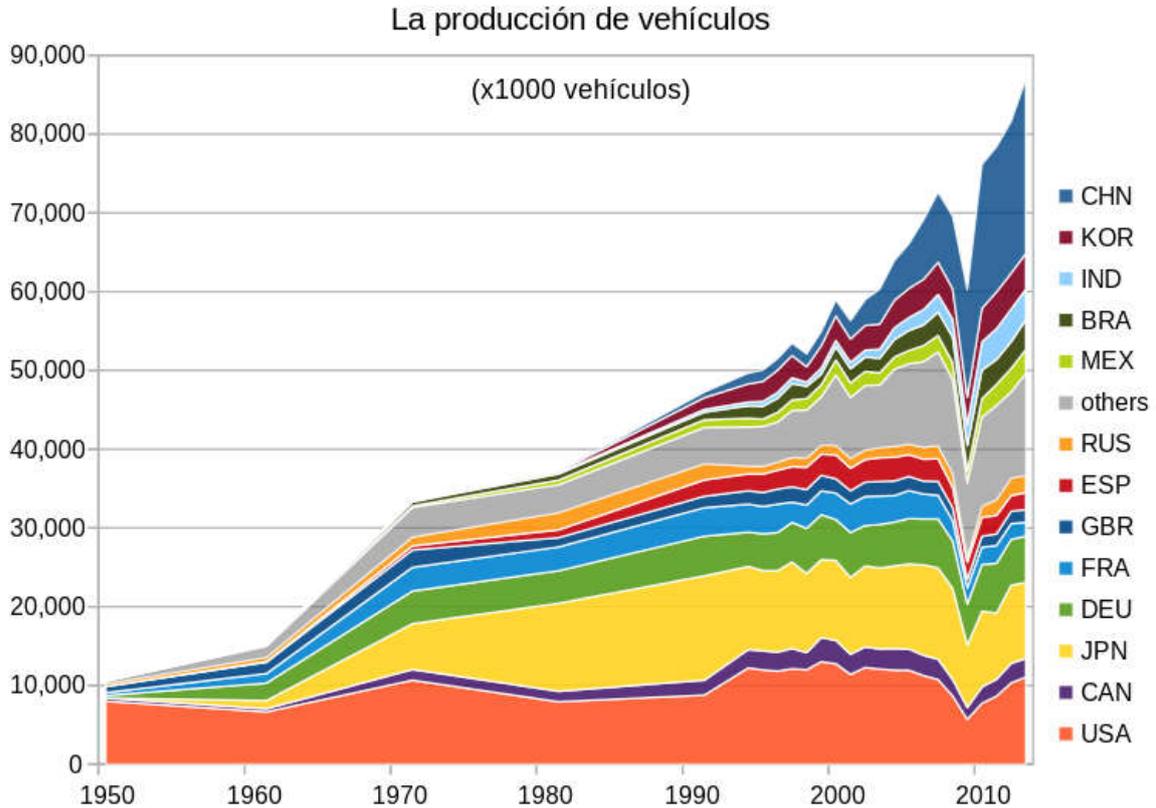


Figura 6. Producción de vehículos a nivel global por países

Se pueden sacar varias conclusiones:

La primera es que la producción ha pasado de aproximadamente 10 millones en 1950 a aproximadamente 86 millones en 2013 (en 2019 serían 95'6) aumentando casi diez veces en setenta años.

La segunda es la caída de la producción en 2008 por reflejo de la crisis económica que tuvo repercusión mundial pero que se recuperó rápidamente manteniendo la tendencia la tendencia creciente.

La tercera corrobora los efectos de la deslocalización y así resulta que países sin marcas nacionales como España, Brasil o México superan la producción de Italia, Francia o Alemania.

La segunda infografía representa la evolución de la participación por países en la producción mundial entre 1950 y 2013.

Las conclusiones son complementarias a la información principal:

En primer lugar, la participación de E.E.U.U. en la producción mundial en 1950 que recién acabada la Segunda Guerra Mundial alcanzaba el 75% del total. en 2013 era solamente del orden del 13%.

En segundo lugar, la consolidación de nuevos países productores a partir de 1960 que han ido ganando cuota con el caso especial de China que inicia la producción 1980 y que se ha convertido en el mayor productor mundial en poco más de treinta años.

En tercer lugar, la constatación de la pérdida de cuota de Alemania y Francia y Japón como consecuencia de la deslocalización de las marcas nacionales hacia otros países.

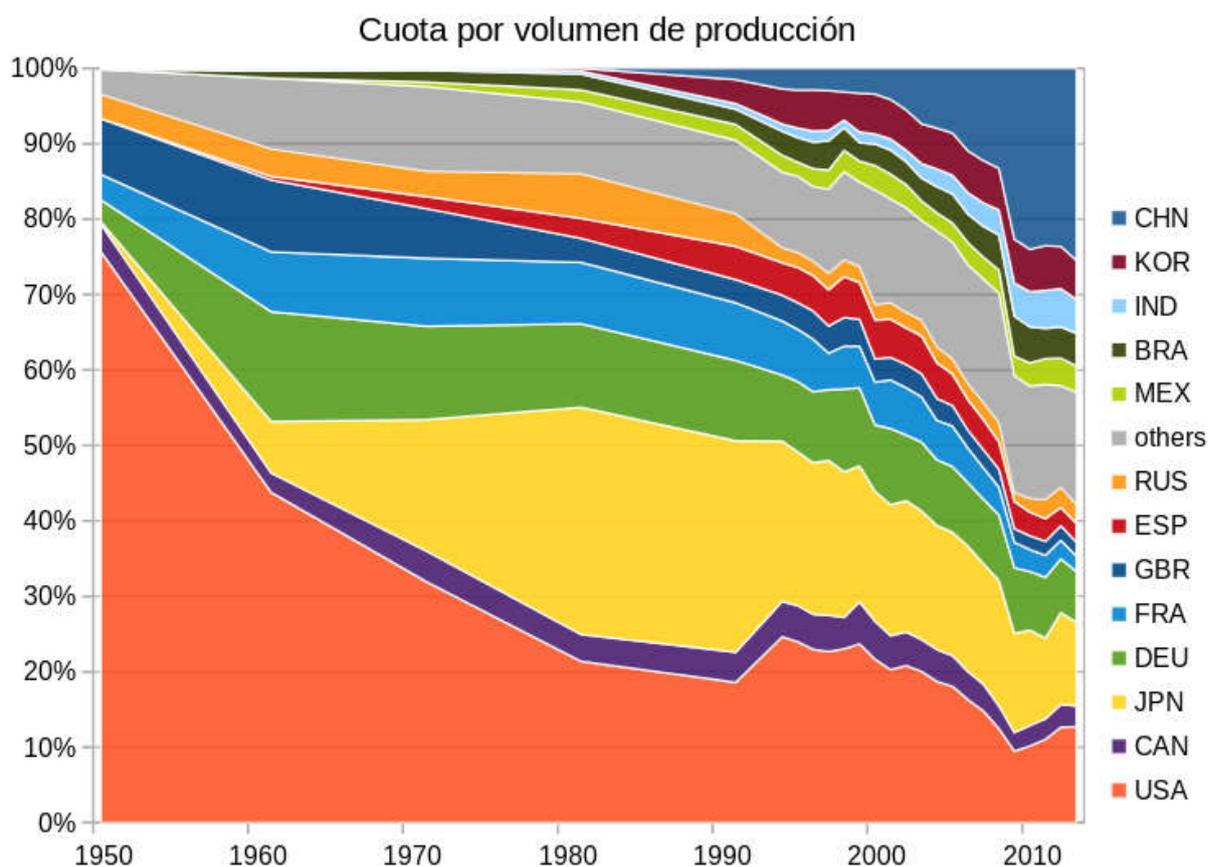


Figura 7. Cuota de mercado por volumen de producción.

3.4 Innovaciones y tendencias en curso.

La predicción del futuro siempre es un ejercicio arriesgado. Incluso un genio como Bill Gates que tanto contribuyó a abrirnos al futuro, se equivocaba en 1991 cuando afirmaba que nadie necesitaría más “más de 640 Kb de memoria en su ordenador personal”. Actualmente la memoria de los ordenadores portátiles alcanza un Terabit; necesitaríamos una calculadora para cuantificar el desfase y los dígitos del resultado no cabrían en la pantalla.

Ciertamente el sector automotriz no tiene la creatividad ni la rapidez de respuesta que tiene el mundo de la informática, pero con esa salvedad, aunque la inercia es muy grande, no hay duda de que en el futuro van a producirse cambios sustanciales.

Hace casi cien años, en 1928, Fritz Lang en Alemania hizo una de las películas importantes en la historia del cine y es representativa de la visión del futuro que se tenía en la época. Los coches se desplazan por autopistas suspendidas y los aviones vuelan entre los rascacielos. Luego las cosas no han sucedido exactamente así y una vez más se demuestra que predecir el futuro tiene un gran margen de error.



Figura 8. Fotogramas de la película *Metrópolis*. Fritz Lang, 1928.

Volviendo a la realidad vemos que desde los primeros vehículos que aparecieron hace más de cien años las innovaciones han sido continuas y a partir de los años veinte cuando la industria alcanzó una dimensión considerable, el proceso ha sido creciente. Luego, acabada la segunda guerra mundial el sector consolida su importancia y la innovación se acelera.

Podemos hacer una mirada retrospectiva de las innovaciones y las tendencias a partir de los años cincuenta considerando tres aspectos:

a) Innovaciones mecánicas.

Las mejoras mecánicas de los vehículos han sido continuas desde los comienzos, pero sobre todo a partir de los años cincuenta han sido muy importantes: cambio automático, dirección asistida, frenos más eficientes, suspensiones más confortables, etc.

En cuanto a los motores, como elemento fundamental del vehículo, ha habido grandes mejoras en cuanto a la potencia y al rendimiento que han hecho de los motores de combustión un prodigio de la ingeniería mecánica, pero incluso reconociendo su gran importancia, solo han consistido en la evolución y mejora constante de lo precedente sin ponerlo en cuestión el modelo básico del motor de cuatro tiempos.

Ahora está lo que está en ciernes es la sustitución o al menos la convivencia del motor de combustión con el motor eléctrico. El alcance y el desarrollo de esta innovación será el acontecimiento con más repercusión en el futuro del sector.

b) Equipamiento.

Las prestaciones mecánicas ya hace años que alcanzaron el nivel suficiente para los usuarios convencionales. Por ejemplo, la velocidad de circulación de las calles y de las carreteras está limitada muy

por debajo de las disponibles, no tiene sentido aumentar las prestaciones en este ámbito por cuanto ya están por encima de lo legalmente establecido. Lo mismo sucede con otros aspectos.

Los verdaderos avances más perceptibles para el usuario han estado relacionados con la comodidad y la seguridad: aire acondicionado, elevadores eléctricos, los equipos de audio, los cinturones de seguridad, chasis deformables, pero sobre todo con la introducción de la electrónica en la configuración del vehículo. Es el caso de los ordenadores de a bordo con control instantáneo de los parámetros del funcionamiento del vehículo, de la conducción por GPS y otros más.

La innovación más importante que aparece en el futuro es todo lo relacionado con la Inteligencia Artificial. Se trata de la aplicación a la conducción autónoma lo cual por ahora no es un objetivo inmediato, pero ya hay investigaciones en curso con logros interesantes. La inteligencia artificial ya puede detectar mediante sensores los obstáculos de la conducción y puede evitar accidentes por colisión, puede aparcar con precisión, puede reintegrar el vehículo al carril adecuado cuando el conductor se despista, puede mejorar la visión nocturna y en general puede aportar ventajas y seguridad en la conducción.

Pero está lejos de sustituir la intervención humana.

Hay estudios de expertos en estas cuestiones que han concluido que la gran mayoría de los accidentes de tráfico se producen por fallo humano, sea por despistes o por falta de atención que serían evitables en gran parte con sistemas inteligentes. Pero simultáneamente han puesto de relieve que muchas situaciones que potencialmente podrían ser peligrosas son resueltas por el cerebro humano con cierta facilidad porque es muy eficiente para evaluar e interpretar situaciones imprevistas y eso lo hace continuamente, casi sin darse cuenta. Por tanto, hay que considerar el porcentaje de los accidentes que podrían evitarse por la Inteligencia Artificial, pero queda por evaluar los que no se han producido por la intervención humana y que la Inteligencia Artificial no hubiera evitado.

Además, las personas psicológicamente necesitamos tener sensación de control o al menos de confianza cuando se afecta a la seguridad. Hay estudios al respecto que dicen que un individuo para utilizar un vehículo autónomo necesita un nivel de confianza 4 ó 5 veces superior al que le requiere a un conductor normal y que en caso de accidentes se juzgaría con mucha más seguridad el fallo de la Inteligencia Artificial que el fallo humano. Algo así sucedió con el Vehículo Tesla S dotado de sistema de conducción autónoma que tuvo un accidente en Indianápolis. Como consecuencia Tesla paralizó la comercialización del sistema.

El estado de la cuestión es que a diferencia de los sistemas inteligentes que ya están muy integrados en los aviones y en los ferrocarriles con resultados muy satisfactorios, en la automoción, la Inteligencia Artificial por ahora solo se vislumbra como un sistema complementario de seguridad.

Tengamos en cuenta que las variables que controla un avión son mucho menores que las que se producen en el tráfico urbano con giros y maniobras constantes señalización confusa y la interacción de otros vehículos que entran y salen constantemente interfiriendo en su trayectoria. En el mundo de los ferrocarriles todavía es más sencillo que para los aviones: el trayecto es perfectamente programable y la

Inteligencia Artificial demuestra su utilidad. El caso del Metro de las grandes ciudades es un ejemplo claro. Funcionan con distancias de seguridad muy restrictivas con los cual se consiguen frecuencias muy altas y sin accidentes destacables.

La revista *The Economist* ha publicado un chiste al respecto: “¿Cuál es la tripulación ideal de un avión?” La respuesta era: “Pues un ordenador, un piloto y un perro.

Como la respuesta resulta sorprendente requiere una explicación y ésta es que el ordenador controla el avión, el piloto da de comer al perro y el perro muerde al piloto cada vez que intente tocar el ordenador”.



Figura 9. Una foto editada para otros fines ilustra la de conducción automática, el conductor y el perro según The Economist

Mientras tanto habrá que esperar y estar atentos a la expresión del perro.

c) Diseño.

Este es un concepto vinculado a las modas cambiantes de las sociedades en que se crean y a quienes se dirigen. Actualmente todos los modelos de cada segmento del mercado se parecen mucho entre sí porque en un mundo globalizado todos están atentos a las tendencias que tienen éxito comercial y dispuestos a replicarlas de inmediato.

Pero hubo un tiempo en que no fue así. A finales de la década de los cincuenta en E.E.U.U. se produjo un fenómeno particular. Mientras el resto del mundo se recobraba a duras penas de los efectos destructivos de la segunda guerra mundial, en E.E.U.U. que había resultado victorioso e indemne, gozaba de una época de prosperidad y de autoconfianza.

Los coches *made in USA* de esa época eran acordes con esa percepción y cada vez eran más grandes, más aparatosos e incluso más extravagantes, pero cada vez menos prácticos.



Figura 10. Chevrolet convertible. 1957

Obsérvese este Chevrolet de 1957 representativo de ese concepto y de la época: profusión de elementos cromados, bicolor, solo dos puertas de accesibilidad pese a su gran tamaño, descapotable. Algunos modelos incluso estaban equipados con techo accionable mecánicamente alojado en el espacio del maletero posterior. Ocupan un lugar particular en la historia del automóvil y en la historia del diseño industrial.

Eran caros e ineficientes y fueron desplazados del mercado primero por los coches japoneses y también por los europeos, fundamentalmente los alemanes, que eran más baratos y más prácticos. Nunca ha habido retorno a esos tiempos pasados.

Actualmente la tendencia mundial en cuanto a diseño da preminencia a la utilidad y aparecen conceptos nuevos de vehículos vinculados a usos específicos que abren nuevos nichos de mercado. Si tiene éxito pronto son replicados por la competencia. La estética difiere poco por cuanto todos ellos están diseñados siguiendo parámetros similares.

3.5 La simetría histórica como método de prognosis.

Cuando se hacen predicciones de futuro también puede ser útil referirse al pasado. En esa línea de pensamiento puede ser interesante hacer un ejercicio de simetría histórica. Analizando un sector maduro como es el de la automoción podemos comparar retrospectivamente las diferencias entre el principio y el fin del periodo y percibir la velocidad y la intensidad del cambio. Según este criterio, en el periodo simétrico considerado del futuro, en una primera aproximación cabe suponer que los avances pueden ser de similar intensidad. Naturalmente este criterio no serviría para sectores en ebullición como informática, las TIC's,

la biotecnología, la inteligencia artificial y otros similares que tienen comportamientos distintos y no extrapolables a partir de la visión actual.

A escala demográfica, una generación se considera habitualmente que es un periodo de 25 años.

En un ejercicio de retrospectiva, pensemos cómo era el mundo hace 50 años, dos generaciones anteriores, y eso nos sirve para recordar cómo eran los vehículos de aquel entonces. Para ello el cine es un documento de época muy valioso porque nos ofrece la visión real de cómo eran los coches del momento. 1968, a nuestros efectos, puede ser el año de *Bullitt*, la película famosa por la persecución de coches de la época por las calles de San Francisco que marcó en el género un antes y un después.

Si retrocedemos solo una generación, 25 años, nos lleva a 1995, situada en los prolegómenos de la época de bonanza más reciente que acabó oficialmente a escala mundial aproximadamente diez años más tarde con la quiebra de *Lehman & Brothers* en septiembre de 2008.

Los coches y las calles que vemos en *Bullitt* y en otras películas de la época, en el fondo, no difieren mucho de los que circulan en la actualidad. Los coches de 1995 y de las películas posteriores de la saga de James Bond se podrían considerar como una referencia de lo más sofisticado de cada momento, pero si lo vemos como una muestra de la evolución de los coches la conclusión es que realmente no han variado sustancialmente. En nuestro caso, las infraestructuras sí que han mejorado notablemente, sí ha habido avances muy importantes en el rendimiento de los motores y la aplicación de la electrónica se ha generalizado, aportando ventajas operativas muy útiles que, probablemente, son las que más perciben los usuarios. También han cambiado las modas y los modelos más demandados actualmente tienen características que difieren de los de épocas anteriores. Son más prácticos y más eficientes.

Conceptualmente ha habido evolución, pero no ha habido ruptura.

¿Qué sucede si aplicamos el concepto de simetría histórica a la prospectiva de la movilidad urbana?

Mirando al pasado es evidente que se trata de un sector con mucha inercia, debido a la enorme dimensión del parque existente. Por consiguiente, las nuevas tecnologías que van a desarrollarse y los criterios de movilidad urbana que estarán vigentes en cada momento se implantarán progresivamente, pero con un largo periodo de adaptación.

Ya en el campo más especulativo hay tecnologías que todavía están en fase experimental para el suministro de energía eléctrica sin cables, una de ellas es la tecnología de recarga por inducción, realizada a través del propio pavimento. El principio físico de este sistema se basa en la inducción electromagnética, sintonizando dos bobinas en la misma frecuencia; la bobina receptora es la del vehículo y la bobina emisora está en la vía y se alimenta de electricidad por cualquiera de las fuentes existentes. Por este sistema se produce la transferencia de energía eléctrica sin necesidad de cables. Obviamente estas tecnologías están en fase experimental y en caso de que prosperasen quedaría un largo camino para pasar a los prototipos y todavía más para llegar finalmente a la fase industrial, no solamente del vehículo puesto que además habría

que adaptar la plataforma donde circularía. A pesar de ello, puede ser una solución interesante para el transporte público en ciudades.

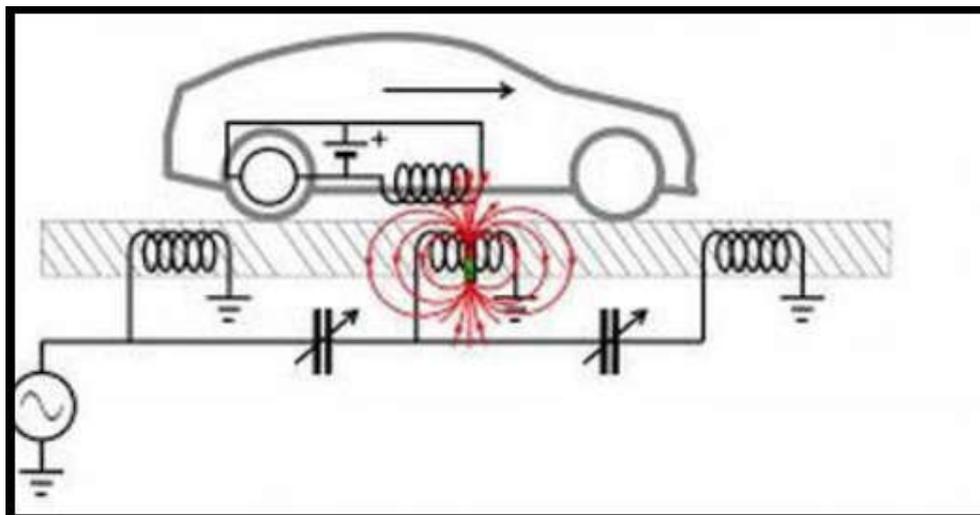


Figura 11. Esquema de transmisión de energía.

En España ya se han iniciado, desde 2015, experiencias para evaluar estas tecnologías. Concretamente en el campus de la Universidad de Málaga, los promotores del proyecto español Victoria (*Vehicle Initiative Consortium for Transport Operation and Road Inductive Applications*) han adaptado un circuito de diez kilómetros para la circulación de un autobús con recarga por inducción. Tal como se ve en el esquema se han instalado grupos de bobinas primarias alojadas en arquetas estancas de hormigón y conectadas a la red eléctrica convencional. No se han instalado en todo el circuito, tan solo en zonas localizadas, pues se trata de un modelo experimental y también importa la evaluación de la recarga en distintos supuestos. Por el momento el vehículo es un autobús eléctrico dotado de baterías recargables con triple sistema de recarga: recarga convencional por cable en las cocheras por la noche, cargas parciales en una estación de recarga inductiva en paradas (estática) y cargas parciales en un carril de recarga inductiva en movimiento (dinámica.) Las baterías le son necesarias para el recorrido en los tramos sin inducción y para desplazamientos fuera del circuito de inducción. Naturalmente, en el futuro se pretende alcanzar la recarga exclusiva en movimiento.¹

¹ Se puede consultar el documento completo en la siguiente web:

https://www.transit.dot.gov/sites/fta.dot.gov/files/FTA_Report_No._0060.pdf

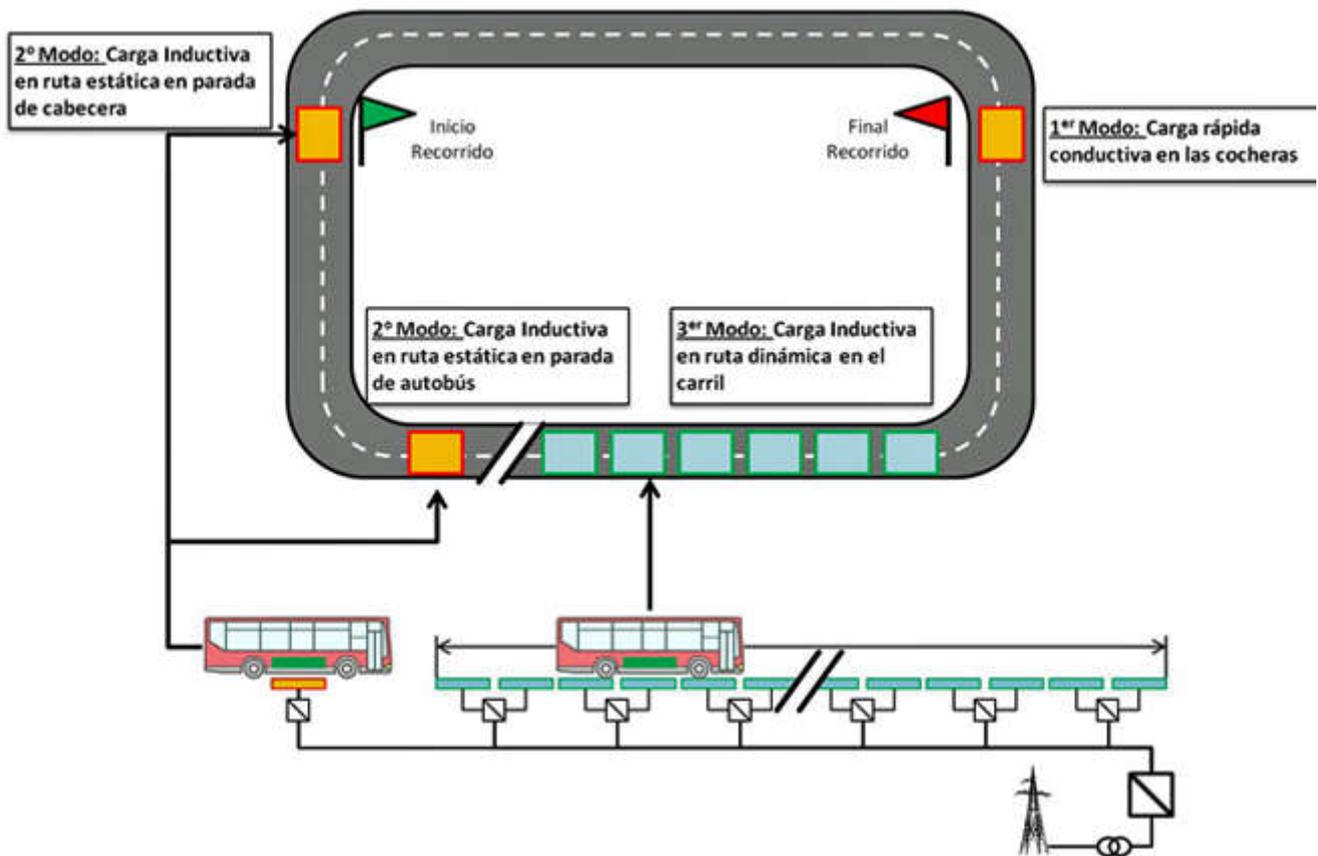


Figura 12. Esquema del circuito. Málaga.

Proyectos similares se estaban desarrollando en varios países en esas fechas. En Corea del Sur ya está en servicio y también están en curso en Alemania y Reino Unido, y probablemente en más países.

4. Reseña histórica del desarrollo de los motores.

4.1 El movimiento lineal alternativo y el movimiento rotativo.

Esta distinción tiene interés para la comparación entre los motores de combustión y el motor eléctrico.

La potencia mecánica en los motores en los cuales la expansión del gas en los cilindros produce el movimiento lineal alternativo por el desplazamiento lineal de un embolo dentro de un cilindro, en el cual se genera la energía que mueve hay que convertirla en un en un movimiento rotativo que se puede transmitir mediante ejes y engranajes.

El mecanismo utilizado para ello es el sistema biela/manivela.

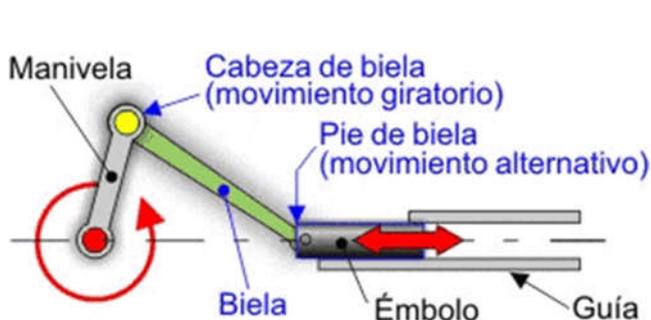


Figura 13. Esquema de la conversión del movimiento lineal en movimiento rotatorio.

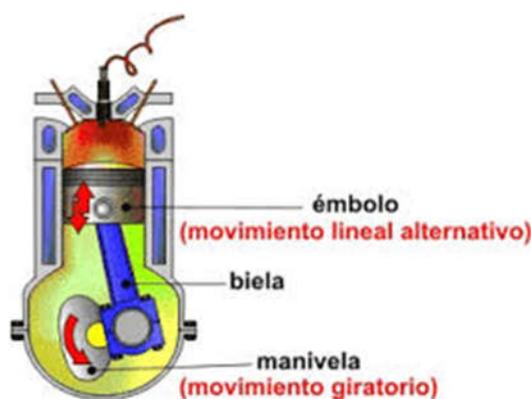


Figura 14. Esquema de la conversión del movimiento lineal en rotatorio en un motor de combustión interna

Evidentemente, el mecanismo biela/manivela añade complejidad mecánica al motor lineal alternativo y además del costo de producción, requiere lubricación continua y mantenimiento constante.

Históricamente los primeros motores fueron las máquinas de vapor cuya última versión fueron las impresionantes locomotoras de ferrocarril de los años cincuenta que, prácticamente, fueron el final de la época del vapor. En ellas, el mecanismo de las bielas y manivelas estaba a la vista. Posteriormente, cuando aparecen los motores de combustión, el mecanismo necesita ser mucho más complejo y consiste en el cigüeñal, que es la pieza en la que se acoplan las bielas para convertir el movimiento lineal alternativo en rotatorio.

Para ilustrar lo dicho podemos ver el interior de una fábrica durante la época de la Primera Revolución Industrial, en el cual se utilizaba un sistema de transmisión de energía de movimiento rotatorio. La electricidad todavía no se había incorporado a los procesos de producción y la energía se distribuía mediante poleas con correas de transmisión acopladas a ejes giratorios movidos por la planta motriz que queda fuera de la imagen. El rendimiento mecánico de este proceso de transmisión de energía debió ser bajo, pero en aquel momento estas plantas fueron la vanguardia de la industrialización.

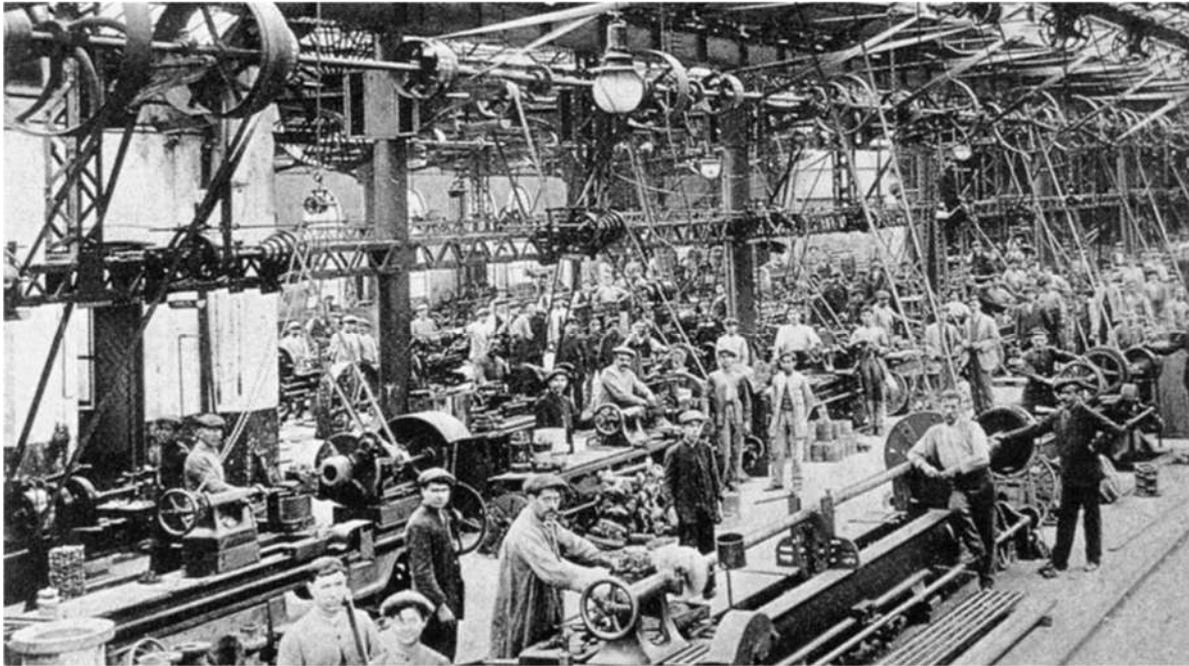


Figura 15. Vista interior de una fábrica de la primera Revolución Industrial.

4.2 Motores térmicos.

Los motores térmicos transforman el calor generado por combustión en energía mecánica. La clasificación se basa en el procedimiento de la combustión.

4.2.1 Motores de combustión externa. La máquina de vapor.

Se llaman de combustión externa por cuanto se realiza fuera del motor considerado como tal.

La máquina de vapor funciona generando en una caldera vapor de agua a alta temperatura que, al expandirse en un cilindro, empuja un pistón y genera energía mecánica mediante un mecanismo de biela y manivela.

La siguiente imagen es de la gran máquina de vapor que se exhibe en el Museo Británico de la Ciencia en Londres. A horas determinadas los operarios la ponen en movimiento a bajas revoluciones accionada por un motor eléctrico. Verla en funcionamiento es un espectáculo. Se ve perfectamente como el movimiento alternativo de las bielas y de las manivelas accionados por sendos cilindros desfasados para evitar los puntos muertos producen el movimiento rotatorio del gran volante, el cual está estriado para mejorar la tracción, para transmitir la energía mediante varias poleas.

Máquinas de vapor similares pudieron ser las que movieran las fábricas como las de la fotografía anterior. Ahora han servido para interpretar mejor el movimiento lineal y el movimiento rotatorio.

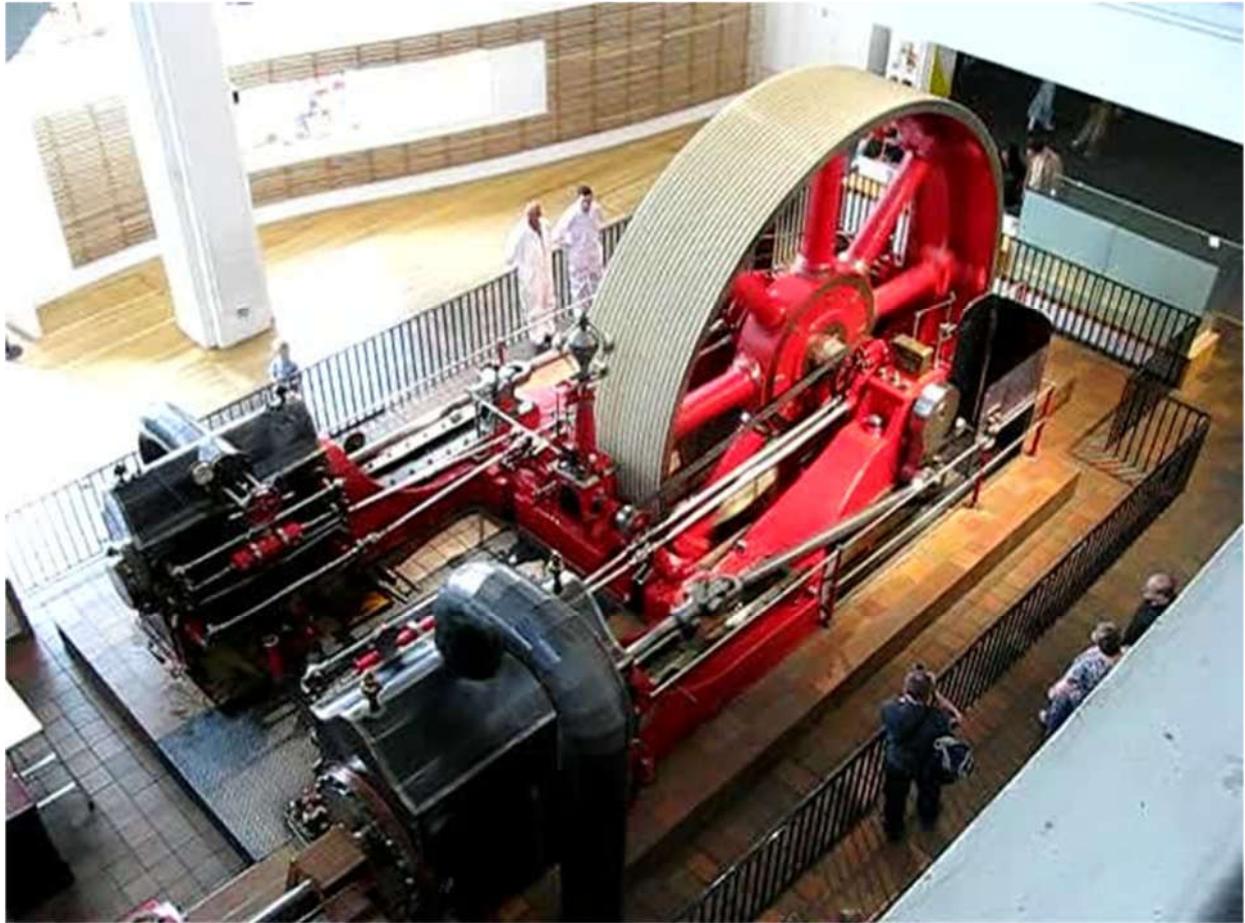


Figura 16. Vista de la gran máquina de vapor del Museo de la Ciencia y la Tecnología en Londres.

4.2.2 Motores de combustión interna. Motores de explosión.

En este caso la combustión se produce dentro del motor. El calor generado por la combustión aumenta la temperatura y la presión, desplazando así el embolo dentro del cilindro en un movimiento lineal alternativo que se transforma en rotativo por medio del acople de varios cilindros a un cigüeñal.

La complejidad mecánica de este tipo de motores que giran hasta 5.000 r.p.m. o más, es muy alta. Solamente el perfeccionamiento continuo a lo largo de más de cien años ha conseguido la precisión mecánica de los motores actuales.

Durante la historia del motor de combustión se han consolidado dos modelos principales basados en el ciclo Otto, que son los de gasolina, y los del ciclo Diésel, que consumen gasóleo. Ambos funcionan según el ciclo de Carnot de cuatro tiempos, por lo que tienen muchas similitudes. Se diferencian fundamentalmente en la relación de compresión a la que funcionan, la cual determina las características diferenciadoras del encendido y el tipo de combustible adecuado. También ha habido otras alternativas de diseño, algunas de ellas muy ingeniosas, que no han tenido continuidad por diversas causas.

La más interesante de estas alternativas, y la que llegó más lejos en la implantación, fue el motor rotativo Wankel, que utiliza rotores en vez de los pistones de los motores alternativos. Se basa en un rotor

triangular que gira dentro del bloque del motor en forma de ocho con un diseño geométrico muy elaborado. El rotor triangular gira sobre un eje excéntrico respecto al eje del motor al cual está engranado. Las cavidades que se delimitan con el giro del motor tienen volumen variable y actúan como cámara de compresión y de combustión.



Figura 17. Sección de un motor en V de cuatro tiempos.

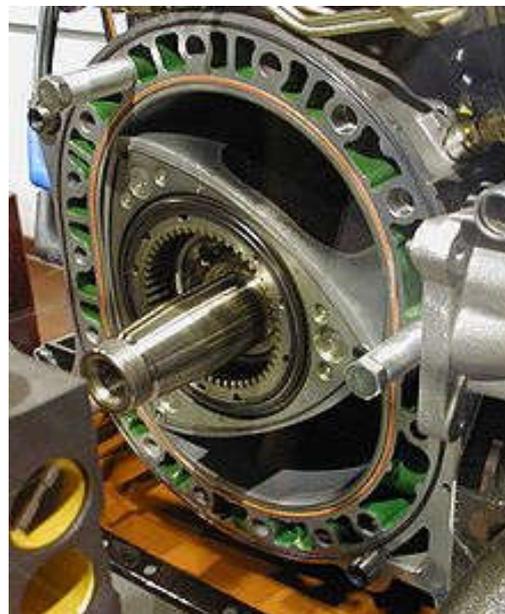


Figura 18. Sección de un motor Wankel.

Mecánicamente, es mucho más sencillo y carece árbol de bielas, pistones y cigüeñal; es decir, de la mayoría de las piezas móviles de los motores convencionales. En ese aspecto tiene es similitudes con el motor eléctrico.

Conceptualmente en principio el motor Wankel ofrecía ventajas aparentes frente a los motores convencionales, pero cuando en los años setenta pasó de prototipo a la producción industrial, las buenas expectativas no se confirmaron; probablemente sufrió los problemas normales de la primera fase del desarrollo, pero en una industria tan competitiva como es el caso, los resultados no pueden tardar y no ha lugar a perseverar en la espera. Tras un periodo de comercialización poco exitoso, el proyecto fue abandonado.

4.3 La física, la química y la termodinámica de los motores térmicos. La entropía. Rendimiento.

El diccionario de la RAE, en su segunda acepción, define motor como máquina destinada a producir movimiento a expensas de otra fuente de energía.

El movimiento de una fuerza genera trabajo ($W=F \cdot d$) y el concepto de energía y del de trabajo son equiparables e intercambiables y se miden con las mismas unidades de medida, preferentemente en julios. En los motores eléctricos es habitual el kW-hora, y con limitaciones también se utiliza la kcal, que es una unidad de calor.

En los motores de combustión, la energía que se aporta es energía química en forma de calor. En los que consideramos para el caso puede provenir de carbón, de combustibles vegetales o de hidrocarburos, pero en cualquier caso tienen en común la combustión de la materia orgánica que es una reacción exotérmica, que produce calor. Básicamente:



“C” corresponde al carbono que está presente en el carbón, en los combustibles de origen vegetal o en los hidrocarburos, “O₂” corresponde al oxígeno del aire que actúa como comburente.

La transformación de la energía calorífica en energía mecánica se rige por los principios de la termodinámica. El primer principio de la termodinámica se expresa matemáticamente como:

$$\Delta U = W + Q$$

Expresa que, en un sistema cerrado, la variación de la energía del sistema “U” es igual a la suma del trabajo producido “W” más el calor intercambiado “Q”, con sus signos respectivos según se aporte o se extraiga. Este principio se conoce como el principio de la conservación de la energía que en su formulación más simple y más conocida nos dice que la energía ni se crea ni se destruye, solo se transforma.

Por tanto, el calor, como una forma de energía, se puede transformar en cualquier otra: potencial, eléctrica, luminosa, química o mecánica.

La forma en que se realiza esa transformación se explica por el segundo principio de la termodinámica cuya formulación matemática es muy compleja. Básicamente limita el rendimiento máximo teórico en función del gradiente de temperaturas del proceso, e introduce un concepto poco intuitivo pero fundamental en la Física, que es la Entropía. Nos viene a decir que no toda la energía en forma de calor obtenida por la transferencia de un foco caliente a un foco frío es aprovechable como energía mecánica.

Por el contrario, nos dice que una parte de la energía de cualquier proceso de transformación acaba convertida en calor irre recuperable para el sistema.

Si el primer principio de la termodinámica es el principio de la conservación de la energía, el segundo puede entenderse como el principio de la disipación de la energía.

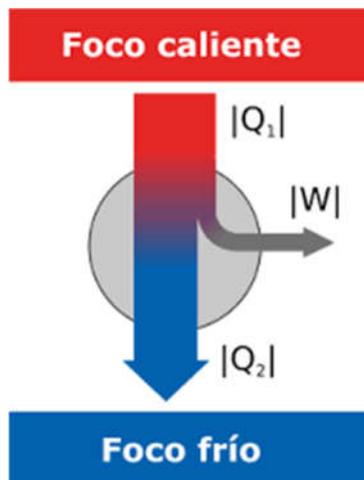


Figura 19. Visión del segundo principio de la Termodinámica.

Aparece por tanto el concepto de rendimiento del sistema como cociente entre el trabajo útil desarrollado respecto a la energía aportada. El cociente siempre es menor de uno, ya que parte de la energía aportada se convierte (se disipa) en calor.

$$\eta = \frac{W_{\text{out,neto}}}{Q_{\text{in}}} \quad \eta = \frac{Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}}}{Q_{\text{in}}} = 1 - \frac{Q_{\text{out}}}{Q_{\text{in}}}$$

Por consiguiente, hay un límite absoluto para el rendimiento de cualquier máquina térmica cuyo máximo valor teórico es el de una máquina de Carnot ideal y reversible. En ese caso el rendimiento (η) solo depende del gradiente de las temperaturas del foco caliente y del foco frío, y cuyo rendimiento ideal sería $\eta=1$:

$$\eta = (T_1 - T_2) / T_1 = 1 - T_2/T_1$$

Siendo T_1 y T_2 las temperaturas absolutas medias en grados Kelvin ($^{\circ}\text{K}$).

Los valores teóricos son inalcanzables en la práctica por cuanto no se dan las condiciones de la máquina ideal y de los procesos reversibles.

Para estas cuestiones se ha recurrido al estudio que el departamento de Física Aplicada de la Universidad de Sevilla tiene disponible en la web, en el cual se desarrolla dos ejemplos teóricos tomando como datos usuales de las variables y el resultado es que, el rendimiento teórico para un motor de gasolina con relación de compresión 8:1, sería del 56.5%. Análogamente para un motor de gasóleo con relación de compresión 18:1, sería 63.2%.

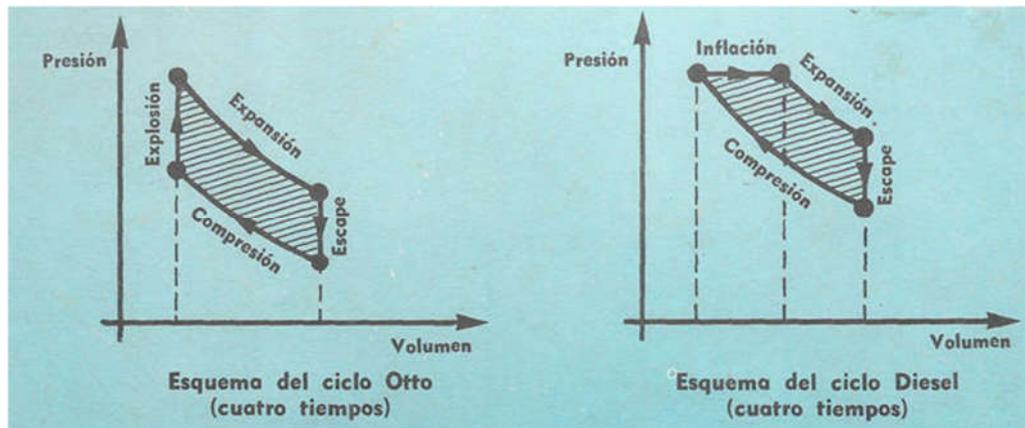


Figura 20. Diagrama termodinámico del ciclo Otto y Diesel.

David G. Artés en un artículo publicado en la revista digital Tecmovía hace un comentario al respecto.

“En el mundo real no es posible construir motores que funcionen o se acerquen siquiera a estas condiciones. Estos rendimientos (que son inferiores al máximo absoluto de Carnot) corresponderían a motores ideales, lo que implica cosas como ausencia de rozamientos, pérdidas nulas por bombeo, procesos instantáneos de combustión, apertura y cierre de válvulas en tiempo cero, procesos muy lentos de compresión y expansión y un aislamiento térmico sin pérdidas de energía. Dicho de otro modo.

Como ejemplo notable de la eficiencia máxima alcanzable en el mundo real por un motor diésel expusimos el caso del motor alternativo más potente del mundo, un diésel naval de 109.000 CV. Su eficiencia máxima era de un 51,5% girando alrededor de 100 rpm. Puesto que su lentitud lo hace mucho más eficiente que un diésel automovilístico, cabe suponer que ningún diésel montado en un coche a día de hoy se encuentre ahora mismo por encima de un 40% de rendimiento en su régimen de trabajo y carga óptimos, si es que lo alcanza, y desde luego no en toda su gama de revoluciones.

Por lo que respecta a los motores de gasolina, podríamos tomar como valor aproximado de rendimiento óptimo no muy superior al 30% de la energía consumida, suponiendo que se alcance tal cota y, de nuevo, no en toda la gama de revoluciones y niveles de carga.”

De lo que antecede se pueden sacar varias conclusiones:

- El rendimiento termodinámico de las máquinas térmicas tiene límites teóricos que no es posible rebasar. Dependen solamente del gradiente de temperaturas entre el foco caliente y el foco frío.
- El rendimiento teórico de los motores de cuatro tiempos depende de la relación de compresión. La relación de compresión es el cociente del volumen inicial y el volumen final

del ciclo de compresión del diagrama, y a mayor relación de compresión, mejor rendimiento. En los ejemplos citados oscila entre el 56.5% para los motores de gasolina y el 63.2% para los motores diésel.

- El rendimiento real obtenido en condiciones óptimas de banco de pruebas es de menos del 30% para los motores de gasolina y de menos del 40% para los motores diésel más eficientes. Los cuales, en condiciones normales de funcionamiento, no se llegan a alcanzar.



Figura 21. Barco portacontenedores.

La diferencia entre los rendimientos teóricos y los rendimientos reales es del orden del 25% y, como ya se ha comentado, se debe a que en los modelos teóricos no se consideran algunas variables no cuantificables que afectan mucho a los resultados. Incluso en el caso teórico que se ha tomado de referencia, los autores han sido cautos y han partido de datos conservadores de la relación de compresión, 8:1 para los motores de gasolina y 18:1 para los diésel. Lo habitual es que los motores actuales funcionen respectivamente a 10:1 y a 20:1 o incluso más.

Introducidos en la fórmula, al aumentar la relación de compresión aumentarían los rendimientos teóricos y la brecha con los rendimientos reales sería todavía mayor, del orden del 30% o más.

Cuando un modelo teórico da una disparidad tan alta con los datos reales es evidente que resultan insuficientes y por tanto, para obtener datos fiables es necesario complementar los estudios teóricos en lo que tienen de aprovechable con la experiencia empírica del banco de pruebas.

Cuando se comparan los datos y aparece la diferencia entre el rendimiento teórico y el real, cabría considerar que los motores térmicos despilfarran la energía y esa idea, que tiene cierto arraigo en algunas personas, les induce a pensar que queda mucho margen de mejora y eso no es cierto si como despilfarro se considera el mal aprovechamiento evitable porque en este caso no lo es.

Los casi ciento cincuenta años del motor de combustión se han beneficiado del trabajo y de la destreza de muchos de los mejores profesionales de la mecánica de cada momento. Los resultados han sido formidables en cualquier aspecto que se mire, en el de los rendimientos también. Evidentemente el proceso de mejora no se detendrá nunca pero cada vez los progresos son menores en relación a la situación de partida y hay un cierto consenso generalizado de que ya estamos cerca de los límites alcanzables. En economía a ese proceso se conoce como la ley de los rendimientos marginales decrecientes.

En los casos reales para analizar el rendimiento de un motor de combustión de cuatro tiempos hay que considerar varios aspectos. Los más importantes son:

- El régimen del motor en revoluciones por minuto (r.p.m.).
- La potencia desarrollada normalmente en CV o en kW. (1 CV = 0,736 kW; 1 kW = 1,36 CV).
- El par motor que mide la eficiencia. En kgm o en Nm (1 Nm = 0,102 kgm; 9,8067 Nm = 1 kgm).
- El consumo energético del combustible.

Estos valores son propios de cada motor acorde con su diseño y cuantitativamente varían e de unos a otros. La imagen adjunta es infrecuente y se ha escogido entre otras porque no se suelen haber disponibles diagramas que integren la variación del consumo de combustible en relación con los otros tres parámetros. Este ejemplo de un caso particular que representa la relación entre los cuatro parámetros que corresponden a un motor sin identificar, supuestamente de gasolina, dado que el régimen de r.p.m. del motor es de poca potencia respecto a las habituales en la mayoría de coches, (40 kW equivalentes a 54 CV) tiene el interés de representar los intervalos de funcionamiento óptimo y el comportamiento simultaneo de todas ellas. Puede sorprender la forma de la curva del par motor aparentemente poco aplanada, pero hay que tener en cuenta que la escala del eje de abscisas es mayor de lo habitual y aumenta la distorsión.

En este caso los datos aportados son:

Régimen óptimo: 4.500 r.p.m.

Potencia a 4.500 r.p.m.: 32 kW equivalentes a 43 CV.

Consumo unitario de combustible (¿gasolina?): 200 g/kW.

Consumo total de combustible: $0,2 * 32 = 6,4$ kg / 100 km.

Siendo la densidad del gasóleo 0,850 kg/l \rightarrow 7,52 l/100 km.

Siendo la densidad de la gasolina 0,680 kg/l \rightarrow 9,41 l/100 km.

Los resultados del consumo parecen excesivos según lo que es habitual. Para interpretarlos adecuadamente habría que disponer de más detalles.

En el funcionamiento del motor, al aumentar la aportación de combustible, aumenta la energía aportada, suben las revoluciones y aumenta la potencia desarrollada hasta alcanzar un valor máximo a partir del cual decrece. Esto sucede así porque cuando se rebasa ese límite, el motor no funciona adecuadamente. Los

ciclos son demasiado rápidos y no dan tiempo a renovar el contenido de los cilindros ni antes (admisión) ni después (escape) de la combustión. Como consecuencia el combustible no se aprovecha debidamente y el rendimiento y la eficiencia del motor bajan.

El par motor da la medida de la eficiencia del motor en relación a la potencia generada. La curva nos indica que a bajas revoluciones el par motor es bajo porque una parte proporcionalmente alta de la energía aportada se disipa en rozamientos internos. En el límite un motor en funcionamiento a vehículo parado consume energía, (par motor = 0) pero no produce trabajo útil. El par motor también aumenta con las revoluciones hasta un máximo que queda por debajo de las de la potencia máxima y luego decrece por las razones que decrece la potencia. Para conseguir mejorar la eficiencia se necesita que el funcionamiento del motor se realice a las revoluciones del tramo de la curva en el que el par motor es máximo. Esto se consigue actuando con la caja de cambios.

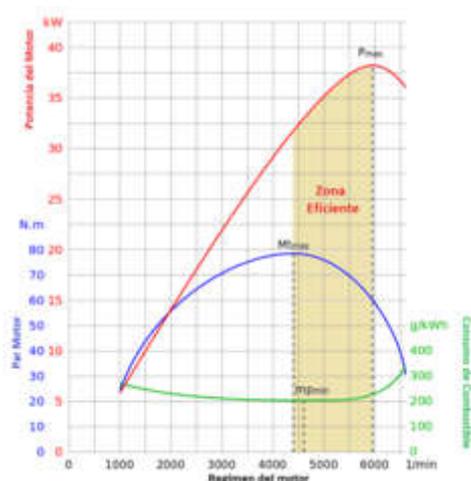


Figura 22. Ejemplo del par motor y el rendimiento de un motor de combustión.

La introducción de la electrónica en el mundo del motor ha hecho que muchos coches actuales lleven incorporado un ordenador que nos proporciona datos que antes solo estaban al alcance de los fabricantes. Podemos por tanto conocer en cada momento la velocidad a que nos movemos, las revoluciones del motor y el consumo de combustible instantáneo. Además, los coches provistos de caja cambio automático incluso seleccionan en cada momento la más adecuada a las condiciones de la conducción. Pero tanto si utilizamos una caja de cambios manual como automática, percibimos que el motor funciona, (suena) mejor cuando lo hace al régimen de revoluciones que corresponde a la parte plana de la curva del par motor. Además, podemos comprobar que en esas condiciones se optimiza el consumo de combustible.

Y es que estos conceptos de mecánica pueden resultar abstrusos para algunas personas, pero sin embargo en la práctica todos los manejamos intuitivamente y con soltura porque, incluso sin saberlo, estamos aplicando los principios del par motor.

4.4 El combustible en los motores térmicos.

Los motores térmicos de combustión interna o externa se basan en la combustión que transforma la energía química del combustible en calor. Parte del calor generado se transforma en energía mecánica y el resto se pierde. Entalpía en términos termodinámicos es la fracción aprovechable de la energía total obtenida en la combustión.

Las máquinas de vapor fueron el paradigma de las máquinas de combustión externa y con ellas se hizo la Primera Revolución Industrial. Consumían prioritariamente carbón de hulla, de alto poder calorífico muy abundante en Inglaterra y en otros países en que se inició. También consumían lignitos y carbones de menor calidad e incluso en E.E.U.U. hubo locomotoras que quemaban madera que era muy abundante en los parajes en los que circulaban. En principio, cualquier combustible que tenga suficiente poder calorífico y que pueda ser suministrado en tiempo y cantidad suficiente puede ser utilizado en una caldera para generar vapor. Naturalmente el empleo de combustible de menor calidad repercutía en la potencia de las máquinas, pero era útil y cumplía su función en lugares y países donde abundaba. Las últimas locomotoras de vapor que estuvieron en servicio incluso llegaron a utilizar el fuel como combustible por la facilidad de uso y los bajos costos de funcionamiento cuando ya era evidente que la época del vapor había llegado a su fin.

Los motores de combustión interna utilizan hidrocarburos procedentes de la destilación fraccionada del petróleo. Se desarrollaron tipos de motores según el tipo de combustible que consumen. El motor de gasolina consume la fracción líquida más ligera de la destilación del petróleo y con una sencilla adaptación también pueden funcionar con gas natural. El motor diésel consume gasóleo que es una fracción más pesada.

El gran desarrollo de la industria petrolífera se produjo parejo con la aparición y el auge creciente de la industria del automóvil que utilizaba la gasolina como combustible. Fue el comienzo de la estrecha relación entre el sector del petróleo y el sector del transporte que continúa hasta la actualidad como el mayor consumidor de productos petrolíferos.

El petróleo tal como aparece en la naturaleza es una mezcla de hidrocarburos diversos por su composición química constituidos por átomos de carbono (C) e hidrógeno (H). La nomenclatura química de los hidrocarburos es por tanto C_xH_y donde de cada molécula de las que componen el crudo de petróleo "x" es el número de átomos de carbono e "y" el de hidrogeno.

Es un líquido viscoso de color oscuro, de densidad menor de uno e insoluble en el agua. En los yacimientos convencionales suele aparecer asociado con gas natural que también es un hidrocarburo en fase gaseosa utilizable en los motores de combustión. Así mismo tiene importancia la presencia de azufre, un componente nocivo que



Figura 23. Petróleo en crudo.

debe eliminarse en cuanto sea posible en el proceso de refinamiento. Petróleo crudo dulce se dice del tiene menos de 0,5% de azufre) y es una característica muy apreciada.

La era del petróleo empezó oficialmente el 28 de agosto de 1859 cuando el coronel Edwin L. Drake perforó con éxito el primer pozo a 21 metros de profundidad en Louisville (Pensilvania E.E.U.U.). Los primeros usos del petróleo utilizaban la destilación fraccionada para obtener queroseno que se utilizaba para la iluminación en sustitución del aceite de ballena y otros varios que se utilizaba para este fin. El resto de los productos de la destilación tales como la gasolina se desaprovechaban mayoritariamente salvo algunos lubricantes que sustituían a los de origen vegetal.

El comercio mundial del petróleo está organizado por precios de referencia. El barril de crudo es la unidad de medida aceptada universalmente y corresponde a 42 galones estadounidenses, equivalentes a 158,987 litros. Hay varias referencias que corresponden a diversas áreas geográficas productoras y los dos más importantes son el barril Brent producido en el mar del Norte entre Noruega y Gran Bretaña y el barril (WTI) West Texas Intermediate.

Siendo que el barril de petróleo es una unidad de volumen, el peso depende de la densidad específica del crudo de que se trate. Para pasar de barriles a toneladas se utiliza 7,5 barriles/t. como coeficiente de paso. Equivale a asignar al crudo 0,8386 Kg/l de densidad, que prácticamente coincide con la del Brent. y es algo mayor que la del WTI. Esto tiene interés por cuanto, así como el precio del crudo se establece por barril, el precio de los derivados, gasolina, gasóleo, etc. se valora por tonelada.

Lo más significativo es que sobre todo el Brent y en menor grado el WTI marcan la línea de precios de todos los demás crudos en el mercado mundial y es importante entender que ambos, más que un producto físico, ya son un producto financiero, una *commodity*. Las *commodities* son bienes genéricos que a partir de la definición de sus características no tienen diferenciación en precio ni en calidad y que sirven de referencia para otros similares en los mercados globalizados. Debido a la especulación, el volumen de transacciones en el mercado de futuros es enorme, varias veces superior al mercado físico.

El petróleo crudo hay que refinarlo para obtener los productos que demanda el mercado. Este proceso se realiza en las refinerías y consiste en la destilación fraccionada. Se realiza en torres de destilación calentando el crudo y a cada temperatura se separa una fracción del total su punto de ebullición.

Según sea el crudo liviano, medio o pesado de la clasificación API, varía la proporción de los productos obtenidos. Los crudos ligeros dan mayor proporción de productos ligeros y los crudos pesados dan mayor proporción de lubricantes y sobre todo betunes. Por ese motivo el precio de los crudos ligeros es más alto que el de los crudos pesados.

Temp. de ebullición (°C)	Átomos de carbono	Productos obtenidos
< 30	1-5	Hidrocarburos ligeros
30-200	5-12	Gasolinas, naftas
200-300	12-15	Queroseno
300-400	15-25	Gasóleo
> 400	+ de 25	Lubricantes, alquitrán

*Tabla 2. Productos obtenidos a partir de la cantidad de átomos de carbono de cada componente.
Datos extraídos de wikipedia.org.*

El queroseno se utiliza fundamentalmente como combustible de aviación y las naftas se utilizan como materia prima en la industria petroquímica y la parte más importante y la más valiosa, la gasolina y el gasóleo, se dedica a combustible de automoción. El porcentaje de los productos obtenidos respecto al total varía según el crudo de origen y el proceso de refinado, pero hay que tener en cuenta que el proceso de destilación es un todo en sí mismo y que para obtener cualquiera de esos productos (gasolina), también hay que obtener los restantes (gasóleo) y viceversa.

La relación de compresión de cada tipo de motor determina las características del combustible utilizable. Los motores del ciclo Otto tienen relaciones de compresión desde 8:1 hasta de 11:1, como ya hemos visto. La ignición de la mezcla del combustible se produce por arco voltaico, y por tanto necesitan un combustible que no produzca autoencendido antes de alcanzar la presión máxima de compresión previa a la ignición, para ello utilizan gasolina. Los motores del ciclo diésel recordemos que tienen relaciones de compresión de 18:1 hasta 22:1, y están diseñados para que el autoencendido se produzca espontáneamente, pero no antes de alcanzar la presión máxima y utilizan gasóleo como combustible. Por tanto, hay demanda diferenciada de combustibles que corresponden a fracciones distintas del proceso de destilación. Si invertimos el planteamiento y lo vemos desde el lado de la oferta, se evidencia que los motores de gasolina y de gasóleo deben coexistir porque hay una oferta diferenciada para ambos que pueden aprovechar en beneficio propio. En un mercado abierto será la oferta y la demanda la que fijará los precios relativos entre ambos.

Por consiguiente, para obtener gasolina, hay que obtener gasóleo o viceversa y en consecuencia para el aprovechamiento integral del crudo, es necesaria la coexistencia de los motores diésel y motores de gasolina que los consumen.

Además de los yacimientos de petróleo hay una gran reserva mundial de yacimientos de gas natural que progresivamente va adquiriendo más importancia como fuente de energía y como materia prima de la industria petroquímica. El gas natural es fundamentalmente metano (CH₄), el cual tiene un alto poder calorífico, del orden de 9.000 kcal., según sea la procedencia. Se presenta como gas natural licuado (GNL) destinado sobre todo a autobuses urbanos y camiones o como gas natural comprimido (GNC) que es el habitual para turismos. Además del gas natural hay el gas licuado procedente de la destilación del petróleo

(GLP) que es una mezcla de propano y butano, es el de las conocidas “bombonas de butano”, que hace años se utilizaba sobre todo en los taxis urbanos, pero actualmente el consumo es casi exclusivamente doméstico. Todos ellos se pueden utilizar en motores de gasolina con una sencilla adaptación y tienen bajas emisiones de CO₂, lo cual se valora especialmente en el tráfico urbano.

Como anécdota, en los combustibles utilizados, hubo un tiempo durante la segunda guerra mundial e inmediatamente posterior en el que se dieron unas circunstancias excepcionales de dificultad de abastecimiento de gasolina y para solucionar la carencia apareció el gasógeno, un extraño artilugio que se acoplaba a los coches para proveerlos de energía. Mediante la combustión incompleta de carbón, coque o incluso madera, se obtiene un gas mezcla de monóxido de carbono y metano de bajo poder calorífico (≈ 950 a 1.200 kcal/m^3) pero útil en aquellos momentos de penuria. Naturalmente cuando las circunstancias se normalizaron, el gasógeno pasó a ser pieza de museo.



Figura 24. Generador de gasógeno acoplado a un coche Adler. Observar la provisión de ¿carbón? en el techo.



Figura 25. Anuncio de combustible gasógeno Gasna.



Figura 26. . Anuncio de combustible gasógeno Gasna.

4.5 El motor eléctrico

Si la Primera Revolución Industrial fue la del vapor, la Segunda fue la de la electricidad y el motor eléctrico fue uno de sus protagonistas principales.

A principio del siglo XX las ventajas que ofrecía el motor eléctrico eran tan notorias que pronto se impuso en los sectores industriales. Igualmente participó en el ámbito del transporte público y aparecieron los primeros tranvías eléctricos, también los ferrocarriles, en plena edad de oro de la locomotora de vapor, empezaron a utilizar locomotoras eléctricas en algunas líneas especiales. En los ferrocarriles suburbanos (el metro) que se iban construyendo progresivamente en las grandes ciudades desde el inicio fueron de uso exclusivo. Circulaban por túneles y la motivación era evidente: no emitían humo. Se puede considerar como el primer caso de adopción del motor eléctrico por causas medioambientales.

4.5.1 El vehículo eléctrico

Es poco conocido que, en la época inicial del automóvil, cuando nada estaba decidido y todo estaba por hacer, el coche eléctrico era una de las opciones más promisorias, a tal punto que Nicolaus August Otto, nada menos que el inventor del primer motor de cuatro tiempos que funcionó con un derivado de petróleo, declaró en 1899: *“Creo que el motor eléctrico es algo muy grande, que tendrá un gran futuro por delante”*.

Así fue que proliferaron los fabricantes y los vehículos eléctricos alcanzaron cierto grado de difusión en el mercado e incluso en ocasiones superaron en número a los de motor de combustión.

V. Christian Manz es un especialista en la historia de las primeras épocas del automóvil y ha publicado libros y artículos sobre esta cuestión. De ellos se han entresacados datos curiosos y anécdotas que se transcriben a continuación.

Durante algunos años, la tracción eléctrica aventajaba a los motores de combustión. Fue tal su desarrollo, que el primer automóvil capaz de superar los 100 km/h fue un coche eléctrico, “la Jamais Contente”, preparado por el belga Camille Jenatzy, que el 29 de abril de 1899 consiguió alcanzar con los 105,9 km/h, récord absoluto durante dos años. En 1900, los vehículos eléctricos también batieron récords de autonomía al alcanzar primeramente los 262 kilómetros y poco después, un Krièger francés, pasó los 307 kilómetros sin tener que recargar.

En aquella época asombraba la velocidad alcanzada, ahora nos sorprende más la autonomía conseguida. Seguramente se debió alcanzar conseguir con métodos y en circunstancias especiales, pero en cualquier caso parece muy considerable para su tiempo.



Figura 27. Imagen de “La Jamais Contante” con Camille Jenatton y su esposa tras batir el récord de velocidad.

La novedad de los nuevos vehículos suscitaba gran interés del público de la época y las exhibiciones y los concursos proliferaban por doquier. La fotografía adjunta da cuenta del convocado en 1898 por los taxis de París. Dice la noticia que hubo dieciséis participantes y que a pesar de que la convocatoria estaba abierta a cualquier medio de propulsión, solamente uno, un Peugeot, era de motor de gasolina, el resto eran de motor eléctrico. Era una buena muestra de la difusión del coche eléctrico.

Los taxis participantes alineados en la céntrica plaza parisina.



Figura 28. Taxis eléctricos en París.

Los primeros coches con motor de combustión tenían muchas vibraciones, eran ruidosos y en resumen tenían una mecánica más compleja. Eran más difíciles de conducir y más que un conductor necesitaba un mecánico que lo hiciera.

Hay una anécdota curiosa sobre una clientela del coche eléctrico insospechada y prestigiosa: las mujeres de la alta sociedad americana más intrépidas entre las cuales se contaba la esposa de Henry Ford que era una de las mayores propagadoras. Las había a quienes les gustaba conducir; no debieron ser muchas, pero tenían ascendencia y visibilidad. Ahora les llamarían *influencers*.



Figura 29. Anuncio publicitario coche eléctrico dirigido a las mujeres. Imagen procedente National Museum of American History.

A propósito de esto V. Christian Manz comenta *“En América, los fabricantes invirtieron mucho dinero en campañas mediáticas en favor del coche eléctrico y en su mayoría con mujeres al volante para demostrar su fácil uso cotidiano. Los anuncios de estos automóviles no aparecieron en las revistas de coches, la publicidad fue llevada hacia revistas diferentes que no hablaron ni de coches ni de deporte, revistas tales como National Geographic, Ladies Home Journal, la Saturday Evening Post y otras, más bien dedicadas a la vida cotidiana”*.

Un anuncio para el 1910 Baker Electric muestra cómo los coches eléctricos fueron comercializados a las mujeres con el aliciente de que no necesitaban girar manualmente una manivela para arrancar el coche. Esta ventaja competitiva no duró mucho tiempo porque pronto se difundió el motor de arranque eléctrico accionado por baterías recargables

Thomas A. Edison probablemente ha sido el inventor más prolífico de todos los tiempos y con todo su prestigio y relevancia, también se interesó por coche eléctrico. Si bien Edison hizo grandes avances en su esfuerzo por producir una batería para vehículos eléctricos, no logró desarrollar una batería que suministrase suficiente potencia y alcance para permitir que los autos eléctricos superen a los que funcionan con gasolina. En 1913 adaptó sus baterías a un vehículo de Bailey Electric, con las cuales alcanzaba cien millas (160 km) de autonomía. y 1.000 millas de *“endurance run”* (recorrido de resistencia) tal como aparece en letrero de la foto adjunta.

Pretendía comercializarlo, y estaba a punto de hacerlo, cuando en 1914 un misterioso incendio destruyó su gran laboratorio de electricidad en Menlo Park. Hubo sospechas de que fuese provocado por el poderoso sector petrolero temeroso del futuro competidor pero las sospechas nunca se confirmaron. Las teorías conspirativas suelen ser sugestivas, pero a la postre resultan poco fiables. Al final los hechos son lo determinante. Poco antes, en 1908, Ford había lanzado el modelo *“T”* con gran éxito de ventas y sea como fuere, a partir de entonces Edison se desentendió del tema.

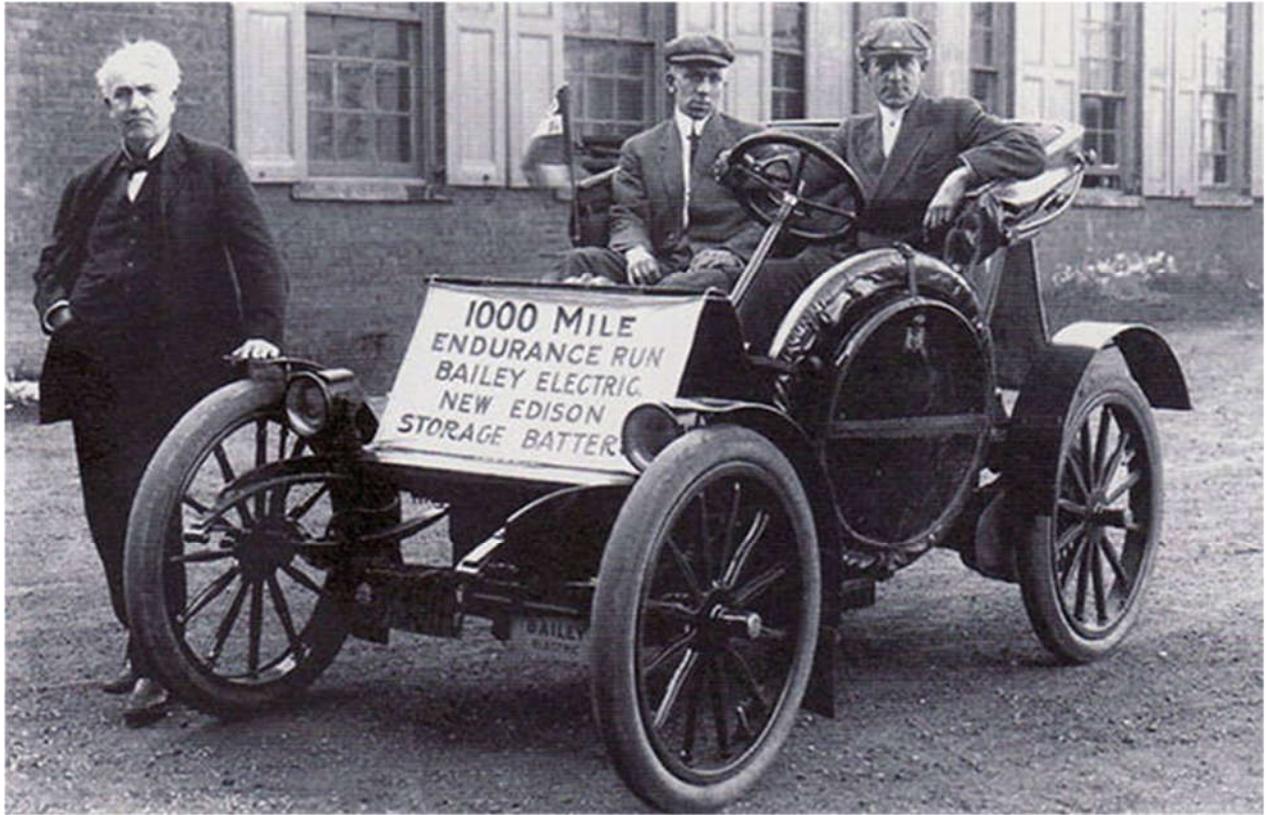
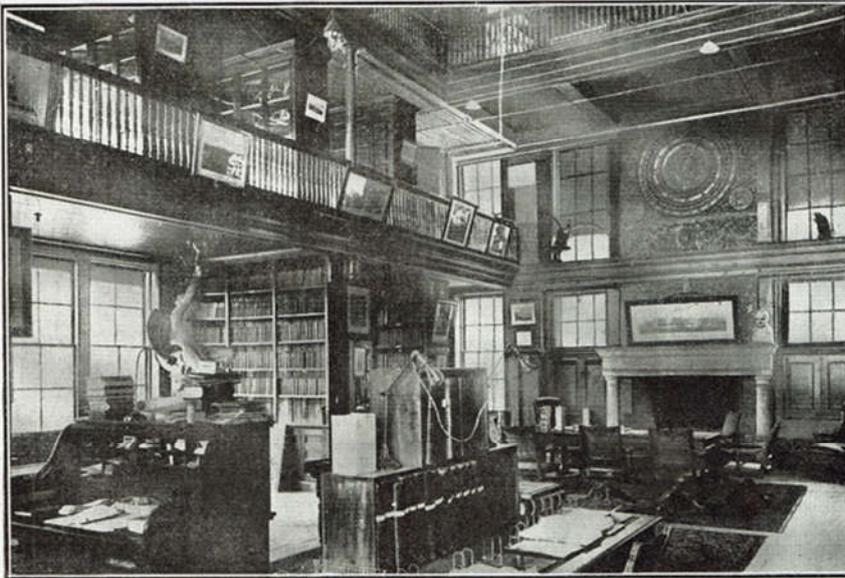


Figura 30. Edison Coche eléctrico Foto autimobile.net.

EL INCENDIO DEL LABORATORIO DE EDISON

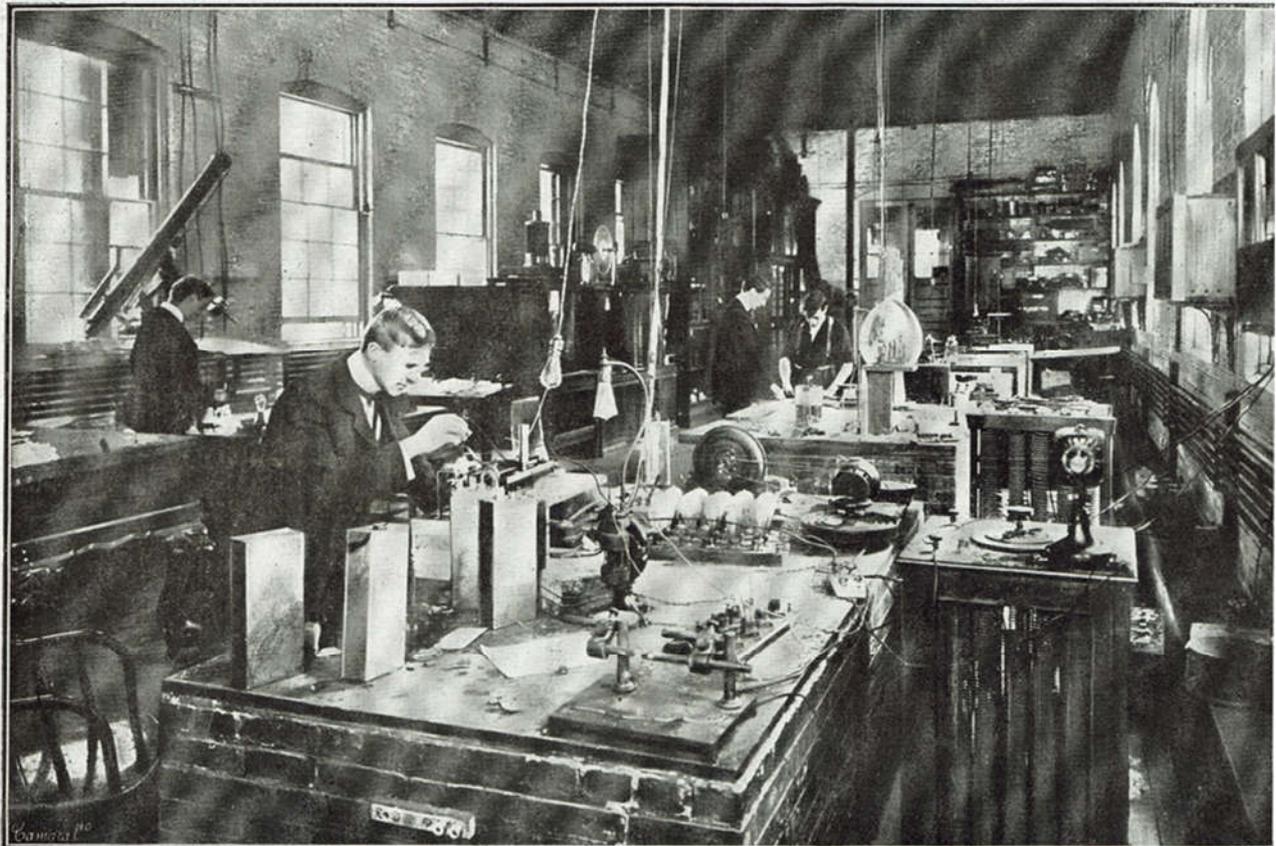


La biblioteca de Edison, contigua al laboratorio que ha quedado destruido por un incendio



El ilustre sabio Edison, en su laboratorio

El llamado Mago de Menlo Park, ese ilustre inventor al que se debe la mayoría de las grandes conquistas de la vida moderna, acaba de experimentar, hacia el fin de su vida, un grave contratiempo. Terrible incendio ha destruido casi totalmente los laboratorios de Edison en los Estados Unidos.



El famoso laboratorio de Edison, en Menlo-Park (Estados Unidos), cuyo magnífico instrumental ha sido destruido por un incendio calculándose en 25 millones de francos las pérdidas ocasionadas por la catástrofe

FOTS. ARGUS

Figura 31. Hoja facsímil de la revista Mundo Gráfico publicada el 30 de diciembre de 1914. Imagen procedente de Todocolección.net.

Retrospectivamente vemos que para el automóvil eléctrico hubo un primer momento en el que parecía que todo iba bien, pero luego todo salió mal. El motor de combustión evolucionaba con rapidez y demostró sus ventajas aliado con la industria petrolera que ofrecía el combustible a buen precio y en cualquier lugar. Mientras tanto, el escaso desarrollo de las baterías puso en evidencia las limitaciones del motor eléctrico que, en la pugna con el motor de combustión, dejó de ser una opción y acabó desapareciendo del mercado.

Actualmente el vehículo eléctrico vuelve a estar de actualidad. Han sido necesarios más de cien años para que se cumpla la premonición de Nicolaus August Otto, en 1889 “*Creo que el motor eléctrico es algo muy grande, que tendrá un gran futuro por delante*”.

4.5.2 Simplicidad mecánica y versatilidad. Rendimiento de los motores eléctricos.

Los motores eléctricos son la alternativa más evidente a los motores térmicos en el mundo del automóvil. En términos generales, se trata de una tecnología perfectamente conocida y ampliamente desarrollada que se puede adaptar fácilmente a cualquier uso que se requiera desde el pequeño motor de un cepillo de dientes hasta los grandes motores de las mayores locomotoras eléctricas o de los sistemas de propulsión de los enormes portaviones nucleares. Esta cualidad, la versatilidad, es una diferencia importante respecto a los motores térmicos, que carecen de ella.

Otra cualidad es la simplicidad y la facilidad de utilización. El motor eléctrico es una máquina sencilla con muy pocas piezas móviles y poca complejidad mecánica. Consiste básicamente en una parte fija, el estator y una parte móvil, el rotor; que mediante el movimiento rotativo del eje motor transmite directamente la potencia generada al sistema de propulsión. Evita por tanto el complicado mecanismo del cigüeñal propio de los motores de combustión interna y el circuito de lubricación que lleva aparejado. También evita el circuito de refrigeración necesario en los motores de combustión para disipar el calor residual de la combustión (el que no se convierte en trabajo según el segundo principio de la termodinámica), en el motor eléctrico basta con un simple ventilador. Evidentemente todo es más sencillo.

Los principios teóricos del motor eléctrico también son mucho más simples que los del motor de combustión, la tecnología aplicable también lo es y por ello la evolución temporal ha sido de poca trascendencia. La comparación de un motor eléctrico de un siglo de antigüedad con un motor actual no ofrecería muchas diferencias sustanciales más allá de la calidad de los materiales y de los procesos de producción que naturalmente han mejorado mucho.

Podemos comprobarlo al comparar la sección transversal de un motor eléctrico actual y la de uno de los primitivos motores asíncronos de finales del siglo XIX, basados en los diseños de Tesla que se exhibe en el museo Nicola Tesla de Belgrado. (El primer prototipo de motor eléctrico capaz de funcionar con corriente alterna fue desarrollado y construido por el ingeniero Nikola Tesla y presentado en el *American*

Institute of Electrical Engineers en 1888). Aunque han sido contruidos con más de un siglo de diferencia, las similitudes entre ambos son extraordinarias.

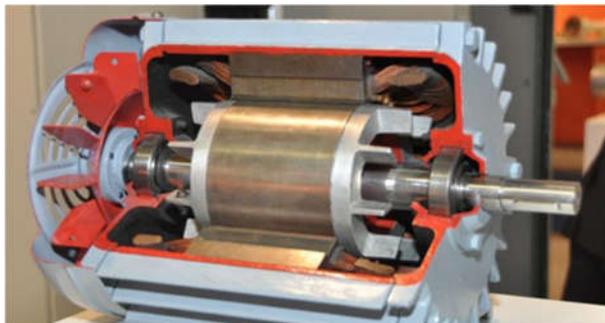


Figura 32. Sección transversal de un motor eléctrico actual.



Figura 33. Sección transversal de un motor eléctrico Tesla finales del siglo XIX. Museo Belgrado.

Hay varios tipos de motores eléctricos, los hay de corriente alterna y de corriente continua, con algunas variantes respectivas, pero el funcionamiento mecánico es básicamente el mismo de todos ellos.

Las fórmulas eléctricas fundamentales son más sencillas y más precisas en la aplicación que las fórmulas termodinámicas. Para un motor es fundamental la potencia que desarrolla.

FÓRMULA DE LA POTENCIA ELÉCTRICA

$$P = VI = \frac{V^2}{R} = I^2R$$

P es la potencia en vatios. [W]

V es la diferencia de potencial media en voltios. [V]

I es la intensidad de la corriente medida en amperios. [A]

W = V * A.

La potencia desarrollada por el motor eléctrico solo depende de la intensidad y del voltaje de la corriente suministrada, con la gran ventaja adicional de que de ambas magnitudes se pueden medir con facilidad y precisión. Nada comparable sucede con la relación de compresión o la eficiencia de la combustión en un motor de cuatro tiempos.

Las dos características más importantes de los motores para evaluar el funcionamiento de los motores son la curva de potencia que muestra sus prestaciones máximas y la curva de par motor que determina el funcionamiento óptimo.

En los motores eléctricos las cosas son diferentes y más sencillas que en los motores de combustión. Como se ve en el gráfico de la imagen, ambas curvas se aproximan a la curva ideal de la

tracción proporcionando a bajas velocidades un par elevado y casi constante. Por este motivo los vehículos con motor eléctrico no necesitan caja de cambio de marchas.

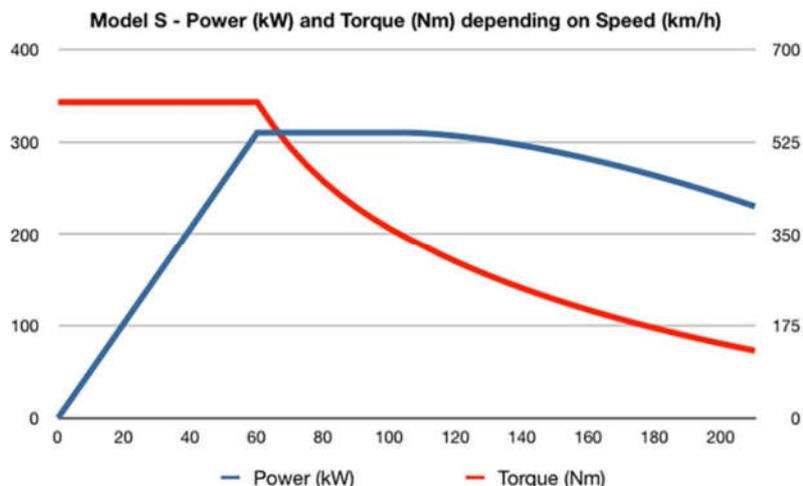


Figura 34. Potencia y par motor en Tesla.

En este ejemplo del modelo S de Tesla también se ve como al aumentar la velocidad, el par motor (*torque*) se reduce y la potencia también disminuye, aunque en menor proporción. Lo mismo sucede en los motores de combustión, solo que más acusadamente (ver figura 21).

Pero además de los aspectos relacionados con estas cuestiones, si miramos con más perspectiva, la versatilidad del motor eléctrico abre posibilidades no contempladas con el motor de combustión.

Si observamos la imagen de la fábrica de la figura 14, vemos enseguida la gran complejidad de la transmisión de la energía por medios mecánicos: hay ejes y poleas por todas partes para llevar a cada herramienta la potencia generada por un motor centralizado. Todo eso quedó arrumbado con el motor eléctrico porque cada máquina lleva acoplado su motor.



Figura 35. La simplicidad de la transmisión en el motor eléctrico.



Figura 36. Motor eléctrico del BMW i3.

Esto también puede suceder en la aplicación del motor eléctrico a los vehículos automóviles en general, sean coches, autobuses o camiones. Siendo que la transmisión de energía eléctrica es muy sencilla, basta un simple cable, es posible suprimir los complicados mecanismos de transmisión mecánica (el diferencial) y sustituirlos por motores acoplados a cada eje o incluso a cada rueda en el caso de tracción total. Ya hay prototipos (*Lordstown Endurance*) preparados para comenzar la comercialización.

La combinación de la electricidad con la electrónica y con la informática permitiría la gestión óptima de todo el proceso. El espacio ocupado por el motor único podría utilizarse para aumentar la habitabilidad del vehículo. Las ventajas son manifiestas.

4.5.3 Las Pilas de Hidrógeno. Una opción poco desarrollada.

Si lo que se pretende es sustituir los combustibles fósiles por fuentes renovables, la única alternativa disponible actualmente al motor de combustión es el motor eléctrico.

A partir de esa premisa, para conseguirlo habrá muchas cuestiones de todo tipo que habrá que abordar y resolver, pero hay una previa que es importante: ¿Cómo se consigue y cómo se suministra la energía al motor de un vehículo eléctrico que no esté conectado a una red eléctrica? La respuesta más inmediata y que parece obvia es o bien con baterías recargables de gran capacidad en los coches eléctricos integrales, o bien con un motor auxiliar convencional en los vehículos híbridos.

Hay otra posibilidad, las pilas de combustible, que transforman directamente la energía química en energía eléctrica y tienen las condiciones necesarias para poderlas adaptar a un vehículo convencional, sean coches, camiones o autobuses.

La pila de combustión es un generador eléctrico que no necesita de un motor convencional acoplado a un generador eléctrico como el de los vehículos híbridos y tampoco es una batería recargable, aunque tiene aspectos comunes con ambos.

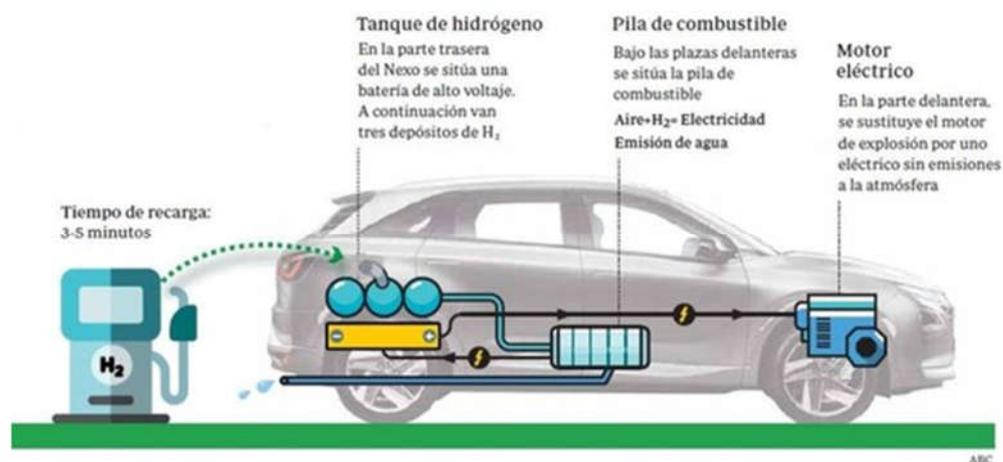


Figura 37. Esquema funcional de un coche con pila de combustible. Procedencia ABC motor.

La ilustración que antecede corresponde a un coche dotado de pila de combustible. Es un coche eléctrico puro en el cual la energía eléctrica necesaria se consigue mediante el hidrógeno procesado en la pila de combustible. Hay dos características ventajosas importantes, la primera es que el proceso de generación eléctrica como indica la figura solo emite vapor de agua, esto es una ventaja medioambiental frente a los vehículos híbridos cuyo motor de combustión emite gases contaminantes; la segunda es que la recarga de hidrogeno en las instalaciones adecuadas es rápida, especifica 3-5 minutos, importante frente a las baterías recargables, además de la mayor autonomía de que disponen.

Todo lo concerniente a las pilas de combustible en general es poco conocido tanto en el aspecto teórico como en la tecnología que lo desarrolla. El profesor Anxo Sánchez Bermúdez de la Universidad de Vigo tiene estudios sobre el tema a los cuales me remito.

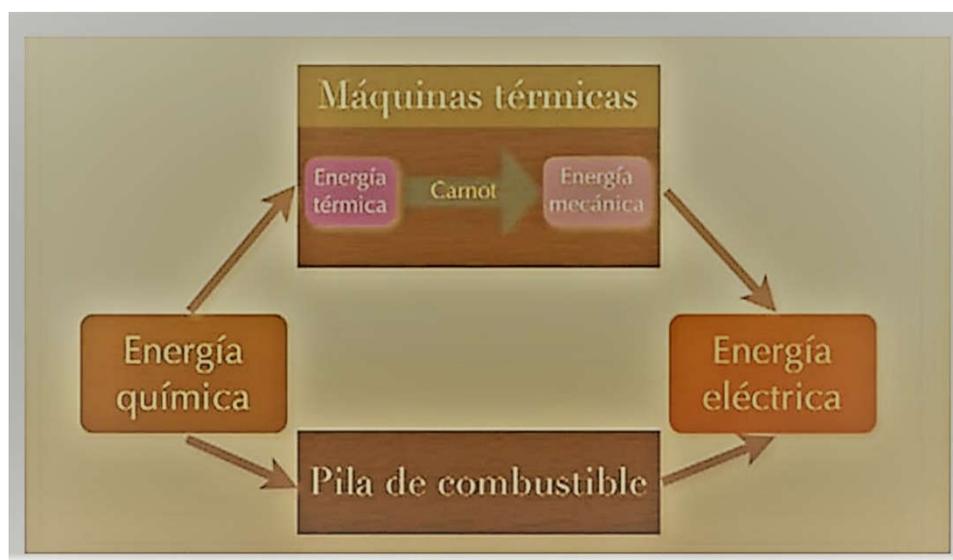


Figura 38. Esquema de la energía. Profesor Anxon Sánchez Bermúdez.

El esquema de la imagen expone con claridad el concepto de la pila de combustible en relación con las maquinas térmicas para producir energía eléctrica, como por ejemplo la de hidrógeno. La capacidad energética del hidrógeno para producir electricidad se puede conseguir por dos procedimientos diferentes. Uno, con una combustión convencional en una maquina térmica que produce energía mecánica y transformando en un generador la energía mecánica en energía eléctrica. Otro, con una pila de combustible mediante un procedimiento electroquímico directo. El rendimiento de la pila de combustible es mejor al conjunto del ciclo térmico y mecánico. Esta y la simplicidad es la ventaja operativa que puede ofrecer la pila de combustible.

Después de lo dicho es curiosa la denominación de pila de combustible porque precisamente su característica distintiva es que no utiliza la combustión, pero estamos tan habituados a los motores térmicos

que combustible por extensión se utiliza para todos los casos. Lo mismo sucede en inglés: *fuel cell stack* literalmente “pila celular de combustible”.

Las pilas de hidrógeno son poco conocidas y de uso poco habitual. Mucho más conocida es la electrolisis del agua, un experimento clásico para estudiantes fácilmente reproducible en laboratorio con medios muy sencillos tomando las precauciones necesarias. Consiste en hacer pasar una corriente continua por recipiente con agua a la que se le añade una sal (electrolito) para mejorar la conductividad. El resultado es que en el ánodo aparece una medida de oxígeno y en el cátodo aparecen dos medidas de hidrógeno. Este experimento llevado a escala industrial se utiliza, aunque poco, para la obtención de hidrogeno.

La pila de hidrogeno reproduce a la inversa el proceso de la electrolisis del agua. En la electrolisis aportando agua y electricidad se obtiene oxígeno e hidrógeno, en la pila de combustible aportando hidrógeno y oxígeno (aire) se obtiene electricidad y agua.



Figura 39. Electrolisis. Experimento.

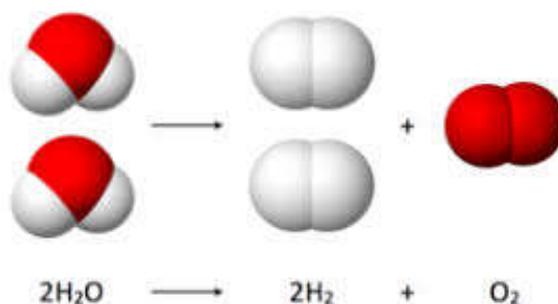


Figura 40. Electrolisis. Proceso químico.

Todo lo referente a las pilas de combustible está todavía muy pendiente de la investigación y la línea más desarrollada es la de las pilas de hidrógeno, y en concreto las que utilizan como electrolito las membranas poliméricas PEM (*Proton Exchange Membrane*) de estado sólido. Una pila, se compone de muchas celdas y en cada celda hay un ánodo, un cátodo y una capa de electrolito. En el ánodo se suministra hidrógeno, que se divide en protones (H^+) y electrones (e^-). Los protones de hidrogeno se dirigen hacia el cátodo de la pila a través de la membrana, donde reaccionan con el oxígeno presente en el aire para formar vapor de agua y generar calor.

El funcionamiento de la pila de hidrogeno tiene similitudes con la batería eléctrica común. Ambos constan básicamente de los mismos elementos: dos electrodos y de un electrolito, que funciona como conductor iónico y producen los mismos procesos electroquímicos de oxidación del hidrogeno y reducción del oxígeno. Ambos son reactores electroquímicos que, mediante intercambio de electrones generan corriente eléctrica. La diferencia estriba en que las baterías tienen capacidad de almacenamiento (químico) de energía y la pila de hidrógeno solo produce y suministra electricidad en la medida que consume el hidrógeno que se le aporta. Podría decirse que la pila de hidrogeno actúa en directo y la batería en diferido. En ambos casos producen y suministran lo mismo: electricidad.

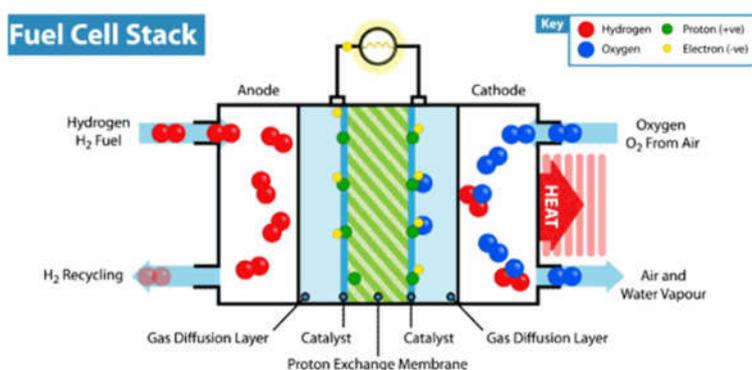


Figura 41. Esquema del funcionamiento de una pila de Hidrógeno- Cortesía de geek.com.



Las baterías recargables se diferencian de combustible en que no tienen consumo de los componentes. El funcionamiento de una batería se basa en un proceso reversible conocido como reducción-oxidación, donde uno de los componentes se oxida (pierde electrones) y el otro componente se reduce (gana electrones) en un proceso en el que los componentes no se consumen, sino que únicamente cambian su estado de oxidación. Los componentes vuelven a su estado original cuando se interrumpe el circuito de descarga o cuando se conectan con una corriente externa durante el proceso de recarga.

La pila de combustible es, por tanto, un proceso electroquímico de transformación de la energía química en energía eléctrica por sistemas que no utilizan la combustión. Como anécdota al respecto cabe comentar que en la comunidad científica hay biólogos que están estudiando cómo algunos animales mediante procesos bioquímicos complejos generan corrientes eléctricas de importancia.



Figura 42. La anguila eléctrica *Electrophorus electricus* es nativa del norte de América del Sur.

En 2019 National Geographic investigó las anguilas eléctricas de gran tamaño en el Amazonas que, para su particular forma de supervivencia, generan electricidad de alto voltaje (el documental está disponible en video). La existencia de la especie ya era conocida desde hace tiempo, pero lo novedoso y lo sorprendente es que los investigadores han podido medir la corriente generada por un gran ejemplar y alcanzó ¡860 voltios! durante algunos segundos, capaz por tanto de matar a sus presas o a sus depredadores. En cierto modo las anguilas amazónicas (que realmente son peces, no son anguilas), también se podrían considerar como una pila de combustible *sui generis*, una biopila mediante miles de células adaptadas para generar y almacenar electricidad a partir de procesos bioquímicos, conectadas en serie para producir una descarga de casi cuatro veces el voltaje de 220 voltios de las redes eléctrica convencionales como las que podemos encontrar en nuestras casas.

Pero las anguilas amazónicas viven en el agua y conviene volver a escenarios más terrenales.

La pila de combustible, en contra de lo que pueda pensarse, no es un invento reciente y ya era conocida en el siglo XIX, más bien como una curiosidad científica que no tuvo aplicación práctica.

La carrera espacial de los años sesenta impulsó el desarrollo de muchas tecnologías novedosas para resolver nuevos requerimientos, así fue con las pilas de combustible que, para proporcionar energía y la aplicación específica de la electrolisis se siguen utilizando en las estaciones espaciales para suministrar oxígeno a los astronautas.

Teniendo en cuenta la dificultad y el coste de llevar el abastecimiento a la estación ($\approx 100.000\$/\text{kg}$ en los años ochenta), se procura, en la medida posible, la autosuficiencia reciclando el agua consumida, (orina, aseo y condensación) para obtener oxígeno e hidrógeno mediante hidrólisis. La energía necesaria procede de los paneles solares. El oxígeno obtenido se utiliza para la respiración de los astronautas. El hidrógeno, que es pernicioso para la respiración, se recombina con el CO_2 procedente de la respiración de

los astronautas mediante otro proceso químico. $H_2 + CO_2 \rightarrow H_2O + CH_4$. Se obtiene otra vez agua y metano. El agua se recicla y el metano se expulsa al espacio exterior.



Figura 43. Pila de combustible tipo PEM utilizada por la Nasa en el programa Apolo. Imagen Procedente de los profesores Félix Barreras, y Antonio Lozano.

Los profesores Félix Barreras, y Antonio Lozano de la Universidad de Zaragoza y miembros del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), han publicado el estudio “Hidrógeno. Pilas de combustible de tipo PEM” del cual transcribo algunas cuestiones que resultan clarificadoras:



Figura 44. Pila de combustible.

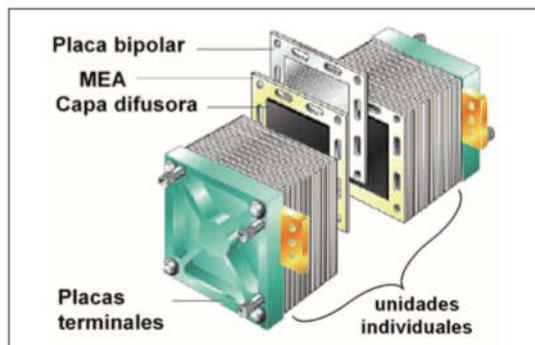


Figura 45. Pila de combustible.

Pila de combustible. Texto publicado en la página web energia2012.es

“¿Por qué se necesitan las pilas de combustible?”

Evidentemente, las pilas de combustible son una tecnología energética muy prometedora con infinidad de posibles aplicaciones. Son precisamente las diferentes propiedades que tienen estos dispositivos las que las convierten en muy atractivas, sobre todo cuando se comparan con otras tecnologías convencionales de conversión de la energía. Éstas son:

- *Alta eficiencia: la eficiencia de una pila es mucho más alta que la de los actuales motores de combustión interna (MCI), por lo que los dispositivos electroquímicos son muy prometedores para su uso en automóviles. Además, la eficiencia de un sistema de pila de combustible es tan alta como la de las centrales térmicas, por lo que pueden emplearse como sistemas de generación descentralizados.*
- *Bajas (o cero) emisiones: al emplear hidrógeno como combustible, las emisiones resultantes de una pila son cero, si el mismo se producen mediante energías renovables o empleando energía nuclear, porque sólo generan como subproductos calor y agua. Esta característica las hace atractivas también para aplicaciones en espacios cerrados, así como en submarinos. Sin embargo, las tecnologías actuales para obtener hidrógeno, principalmente el reformado por vapor de hidrocarburos, hace que existan emisiones de dióxido de carbono, pero muy inferiores a las producidas por combustión.*
- *Estrategia política: el hidrógeno necesario para operar un sistema de pila de combustible se puede obtener a partir de fuentes autóctonas de energía (energías renovables, nuclear, biomasa o carbón). Por ello, el uso de estos sistemas reduciría nuestra dependencia del petróleo y del gas natural. Sin embargo, el uso generalizado del hidrógeno tiene que venir aparejado con el desarrollo de toda la infraestructura necesaria para su producción y distribución, lo que se hace llamar «economía del hidrógeno».*
- *Simplicidad y (promesa de) bajos costes: las pilas de combustible son sistemas extremadamente simples, compuestos de distintas «capas» de elementos repetitivos y no tienen partes móviles. Debido a esto, las pilas tienen la posibilidad de ser producidas de forma masiva con unos costes iguales o menores que los de las tecnologías de conversión de energía actuales. Hoy en día, las pilas son caras debido al uso de materiales costosos como las membranas poliméricas y los metales nobles, como el platino, usados en los catalizadores.*
- *Vida útil larga: al no tener partes móviles, se puede esperar que las pilas sean muy duraderas. Los sistemas que se emplean actualmente en aplicaciones automotrices tienen una vida aceptable (3.000-5.000 horas), pero esta durabilidad debe aumentar en un orden de magnitud para que sean competitivas en sistemas estacionarios, donde se requieren entre 40.000 y 80.000 horas.*
- *Modular: por naturaleza, las pilas de combustible son modulares, pudiendo aumentar la potencia generada simplemente aumentando el número de unidades. Por ello, la producción masiva de los sistemas de pilas puede ser significativamente menos costosos que las tradicionales centrales térmicas.*
- *Silenciosas: esta propiedad hace a estos sistemas muy atractivos a una gran variedad de aplicaciones como unidades portátiles, sistemas de backup o aplicaciones militares.*

- *Tamaño y peso: existen pilas de combustibles de tipo PEM de todas las potencias, desde microvatios a megavatios. El tamaño y peso para aplicaciones en automóviles es similar al de los MCI, mientras que la relación potencia/peso es mucho mejor que la de otros sistemas como las baterías de plomo-ácido, por ejemplo.*

Gracias a todas estas propiedades, las pilas de combustibles ya se han ensayado en una gran variedad de aplicaciones. Entre éstas están los Automóviles: La mayoría de compañías fabricantes de coches han probado y desarrollado al menos un prototipo movido por esta nueva tecnología, mientras otras tienen ya varias «generaciones» de estos vehículos. Algunas compañías trabajan en el desarrollo de sus propias tecnologías (General Motors, Toyota, Honda), mientras otras (DaimlerChrysler, Ford, Nissan, Mazda, Hyundai, etc.) compran los sistemas de pilas a fabricantes como Ballard, UTC Fuel Cells, y DeNora.”.

Según la exposición que antecede, parece que la pila de combustible puede ser una opción a considerar, para proporcionar la energía al vehículo eléctrico, pero como cabe suponer, aunque conceptualmente el funcionamiento de la pila de hidrógeno es bastante sencillo, llevarlo a la práctica tiene muchas dificultades. Queda mucha investigación pendiente para que sea efectivo a gran escala, sobre todo en el campo de los catalizadores y de los electrolitos que son fundamentales para conseguirlo.

En cualquier caso, tengamos presente que el desarrollo de la pila de hidrógeno es una parte de la cuestión y queda la otra parte, la que corresponde a lo concerniente al hidrógeno como fuente de energía que también es importante.

Una cuestión previa es que, con mayor o menor justificación, la utilización del hidrógeno se percibe como un riesgo. Hay que tener en cuenta que se suministra y se almacena en los depósitos de los vehículos a 700 bares (≈ 700 atmósferas), que es una presión muy elevada y potencialmente peligrosa. También preexiste la reminiscencia negativa asociada a la catástrofe del Zeppelin Hindenburg LZ 129. En los años treinta la aviación comercial todavía no disponía de aviones capaces de cruzar el Atlántico y fue el tiempo de los dirigibles, aeronaves que más que volar flotaban por ser menos pesadas que el aire. El hidrógeno era el medio eficaz para conseguirlo. El Hindenburg se incendió en la maniobra de aterrizaje, al parecer, por una pequeña fuga de hidrógeno en conjunción con electricidad estática acumulada durante el proceso. Milagrosamente solo murieron 35 personas y hubo 62 supervivientes entre pasajeros y tripulantes.

Javier Brey es el presidente de la Asociación Española del Hidrógeno y aborda la cuestión de la seguridad del uso del hidrogeno en el automóvil. Transcribo parcialmente sus declaraciones en un artículo publicado en diario ABC.

“Otra de las grandes dudas que surgen ante la utilización del hidrógeno como combustible es su posibilidad de explotar y arder. como ejemplo en numerosas ocasiones se menciona el

dirigible Hindenburg, destruido a causa de un incendio cuando aterrizaba en Nueva Jersey el 6 de mayo de 1937.

Pues bien, al igual que cualquier otro combustible, para que ocurra una explosión o combustión del mismo se requiere un comburente (oxígeno) y una fuente de energía para la ignición. Los depósitos que almacenan el hidrógeno en el coche cuentan con grandes medidas de seguridad.

Pero ¿qué podría suceder en caso de accidente? ¿Al ser un gas inflamable, es más o menos peligroso que si se prende fuego un coche de gasolina?

Brey explica que «ya en 2001 esta era una de las mayores preocupaciones de los usuarios. Por ello, el Dr. Michael R. Swain, de la Universidad de Miami, llevó a cabo un experimento en el que sometía a dos turismos de idénticas características, uno con depósitos de hidrógeno comprimido y otro con depósito de gasolina, a la misma eventualidad: sufrir una fuga de combustible que se incendia».

En las siguientes imágenes, se puede comprobar lo que sucedía (coche con depósitos de hidrógeno a la izquierda y con depósito de gasolina a la derecha):



Figura 46. Incendio del dirigible Hindenburg Wikipedia.



Figura 47. Incendio comparativo. (Asociación Española del hidrógeno).

El hidrógeno, al tratarse de un gas muy volátil escapa rápidamente hacia arriba, y cuando se provoca su ignición podemos ver una llama en vertical que no logra dañar ninguna parte del vehículo. A medida que transcurre el tiempo, el hidrógeno del depósito se va acabando y la llama pierde fuerza hasta que termina por extinguirse, dejando en el vehículo daños leves.

Por el contrario, la gasolina, a través de la fuga provocada en el depósito, forma un aerosol que distribuye pequeñas gotas del combustible por toda la cabina, especialmente hacia las zonas más bajas. Al provocar la ignición del combustible las llamas se extienden

rápidamente por todo el vehículo. Al final del experimento el coche de gasolina termina completamente calcinado, en condiciones de siniestro total.”.

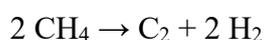
Comentada la cuestión de la seguridad, se trata de conocer cuál es el proceso de obtención. Es sabido que el hidrógeno es el elemento más abundante del universo y que en la Tierra también es muy abundante, sobre todo en forma de agua. Pero el hidrógeno no existe libre en la naturaleza, hay que conseguirlo a partir del estado natural en que se encuentra combinado con otros elementos y eso no es fácil ni eficiente.

La electrolisis del agua parece el método adecuado: es sencillo, la disponibilidad del agua es inagotable y el precio del recurso ínfimo comparado con cualquier otro. Sin embargo, el coste de la energía necesaria en el proceso lo hace poco competitivo. Solamente el 5% de la producción mundial que es del orden de 70 millones de toneladas anuales procede de la electrolisis y es el que se destina a usos que requieren gran pureza del producto.

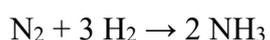
En los demás casos el hidrogeno como materia prima se obtiene a partir del metano (gas natural).

Es lo que se hace en el sector de los abonos nitrogenados que son el mayor consumidor de hidrogeno. Las fábricas de abonos utilizan el amoniaco (NH₃) para obtener ácido nítrico (NO₃H) a partir de cual se obtienen nitrato cálcico y nitrato amónico de uso común en la agricultura y materia intermedia para la fabricación de explosivos.

El amoníaco se consigue por síntesis de hidrogeno y nitrógeno. El nitrógeno procede directamente del aire y el hidrogeno se obtiene a partir del metano.



y posteriormente:



Naturalmente esto nos lleva a una cuestión de principio: si el vehículo eléctrico, que se justifica en buena medida por no consumir energías fósiles, utiliza hidrogeno obtenido a partir del gas natural estamos volviendo al punto de partida y se pierde un argumento importante en favor de la pila de hidrogeno, salvo que se utilice la electrólisis que ya sabemos que es más cara.

En los medios de comunicación especializados también se especula con el hidrógeno como combustible para los vehículos automóviles: coches y autobuses urbanos, sobre todo. Los actores interesados suministran información esporádica para mantener vivo el interés del público con noticias sin aportar concreción, pero la confusión en todo lo que lo rodea es grande y no se sabe muy bien ni en donde estamos ni a dónde se dirigen los protagonistas del caso. Es cierto que algunas marcas mundiales importantes, fundamentalmente asiáticas como Toyota, Hyundai y Honda, ya han comercializado algunos modelos, y algunas europeas importantes como Audi y BMW manifiestan interés. Todas ellas disponen de grandes departamentos de investigación y si siguen interesados es un hecho significativo a tener en cuenta.

Pero las previsiones de producción no se cumplen y todo el proceso no avanza, lo cual genera escepticismo. En el estado actual de la cuestión, el foco de atención del futuro del sector se dirige al vehículo eléctrico con baterías recargables. En él se centran los mayores esfuerzos y las mejores oportunidades.

Por todo ello cabe decir que la opción de la pila de combustible ni está ni se le espera.

4.5.4 Las baterías recargables. La autonomía, un problema no resuelto.

La transición del motor de combustión al motor eléctrico no tiene dificultades técnicas más allá de la gran transformación necesaria en el sector para la reconversión de las fábricas y del empleo. Ya hay tecnología disponible para la fabricación de motores seguros y eficientes que pueden sustituir, incluso con ventaja, a los motores de combustión. El obstáculo fundamental que condiciona su desarrollo es el suministro de la energía eléctrica que accione el motor. Las pilas de hidrógeno no son una alternativa a considerar, por lo menos a corto y medio plazo, y los motores híbridos con un generador eléctrico movido por un motor de combustión tampoco son la solución. Por consiguiente, sea por eliminación o por elección hay consenso en que la solución estará en baterías recargables con las prestaciones adecuadas para que el vehículo eléctrico, además de eficiente, tenga autonomía necesaria.

Actualmente es un asunto por resolver, el almacenamiento masivo de la energía eléctrica es un problema que no se ha podido solucionar satisfactoriamente hasta el presente pero que viene de mucho antes. Cabe recordar la polémica que dividió a los científicos europeos de finales del s. XVIII y principios del XIX sobre la interpretación de los experimentos de Galvani y Volta, la famosa rana que, después de muerta, se contraía al aplicarle una corriente eléctrica. Estas experiencias fueron famosas en ciertos ambientes intelectuales y anecdóticamente dieron pie a una de las primeras novelas de ciencia ficción, "*Frankenstein o el moderno Prometeo*", de la escritora inglesa Mary Shelley, basada en la aparente "reanimación" de cadáveres mediante la aplicación de descargas eléctricas.

Como consecuencia de esos estudios Alessandro Volta en el año 1799 construyó la primera pila eléctrica. Estaba constituida por células binarias de discos "apilados" de cobre (también de plata) y cinc, de aproximadamente tres centímetros de diámetro, separados por un electrolito húmedo de cartón o fieltro impregnado de salmuera. Se había conseguido producir una corriente eléctrica por medios químicos. Ese fue el comienzo de una nueva época de la electricidad y Volta dejó su nombre asociado al voltio como unidad de medida eléctrica.



Figura 48. Pila voltaica exhibida en el Tempio Voltiano (Templo de Volta) en Como, Italia.

Es interesante señalar que el invento de la pila eléctrica es bastante anterior al del motor eléctrico, que suele atribuir como muy pronto a Michael Faraday quien, en 1821, demostró, por medios electromagnéticos el principio de la conversión de la energía eléctrica en energía mecánica. Los motores operativos tardaron más tiempo el llegar.

Sin embargo, el desarrollo del motor fue muy rápido dando lugar a la segunda revolución industrial mientras que las baterías recargables no tenían aplicaciones importantes y no requerían mucha atención salvo cuestiones minoritarias relacionadas con la industria militar (submarinos) y más tarde con la gran oportunidad fallida propiciada por la aparición del automóvil eléctrico, tras lo que quedó en un uso auxiliar para los vehículos de combustión.

Hubo investigadores interesados en la cuestión y hubo experiencias con plomo y distintos materiales con resultados escasos hasta que, exactamente cien años más tarde de la pila de Volta, en 1899, el sueco Waldmar Jungner inventó la batería de níquel cadmio (NiCd) que sirvió de base a Thomas Edison para que en 1903 patentara la de níquel hierro (NiFe) de menores prestaciones, pero más sencilla de fabricar y más barata. Basándose en su diseño de batería, Edison quiso entrar en el desarrollo del vehículo eléctrico hasta que abandonó consciente de sus limitaciones frente al motor de combustión.

La batería Edison modificada y mejorada parcialmente, se ha fabricado, hasta 1972. Recientemente, más de un siglo después, investigadores de la universidad de Stanford han mejorado notablemente el rendimiento de estas baterías de hierro y níquel, que pueden llevar a que esta venerable batería tenga una segunda oportunidad.



Figura 49. Batería Edison.

Aunque el vehículo eléctrico quedara relegado, las baterías recargables siguieron siendo parte del desarrollo del sector. Aparte de ser necesarias para la ignición del motor de gasolina, pronto también se incorporó el motor eléctrico para el arranque sustituyendo el incómodo y peligroso accionamiento por manivela, se desarrolló la iluminación y con el tiempo la introducción de la electrónica y de nuevos equipamientos ha requerido baterías de capacidad creciente que la industria auxiliar ha suministrado sin dificultad.

La producción mundial de baterías recargables estaba dirigida en gran parte al sector del automóvil que con cien millones de vehículos anuales y una reposición estimada de 2 ó 3 unidades durante la vida útil, genera un mercado previsible y recurrente del orden de trescientos o cuatrocientos millones de unidades anuales. Siendo un elemento secundario dentro del coste total del vehículo sin visibilidad para el usuario y con prestaciones suficientes pasaba relativamente desapercibido, con lo cual las innovaciones y las mejoras no tenían estímulos importantes más allá de los propios que impone la competencia del mercado.

El revulsivo vino inicialmente desde sectores ajenos al automóvil, los ordenadores portátiles y sobre todo los teléfonos móviles. La pujanza de estos nuevos sectores ha sido un impulso fundamental para el desarrollo de las baterías recargables. Si hay un componente fundamental en nuestro teléfono móvil, algo sin lo que no funcionaría, algo que no puede faltar en cualquier dispositivo, es la batería. Actualmente cuando hablamos de móviles (y casi de cualquier dispositivo electrónico en general) nos referimos a las baterías de ion-litio, una tecnología que se inició a principios de los 70 y que muy recientemente ha sido reconocida por su importancia (y por su trascendencia) con el Premio Nobel de Química de 2019 concedido al estadounidense John B. Goodenough, al británico Stanley Whittingham y al japonés Akira Yoshino por desarrollar la batería de iones de litio. *"Esta ligera, recargable y potente batería se utiliza en la actualidad en todas partes, desde los teléfonos móviles a los ordenadores portátiles y los vehículos eléctricos. También puede almacenar cantidades significativas de energía solar y eólica, haciendo posible una sociedad libre de combustibles fósiles"*.

Es aleccionadora la *laudatio* con la que La Real Academia de las Ciencias de Suecia acompaña la concesión del premio. Resulta todo un compendio de temas muy actuales: las baterías recargables, el vehículo eléctrico, las energías renovables, los combustibles fósiles y aunque sin citarlos, las cuestiones medioambientales que están implícitas en todos ellos. Es una buena prueba del interés que todo ello suscita en la sociedad actual y reconociendo el camino recorrido y también señala lo que queda por hacer.

En la cuestión primordial de las baterías recargables para el vehículo eléctrico, efectivamente queda mucho por hacer, la situación se ha invertido respecto al comentario de la etapa anterior. Si bien las baterías de ión-litio, por ahora, son razonablemente satisfactorias en el campo de la electrónica, para abordar la transición al vehículo eléctrico son todavía manifiestamente insuficientes.

Para mejorar el entendimiento de la cuestión me remito a al artículo de Paula Ulloa en *eldiario.es* de 20 marzo de 2019 enumera cuales son las características técnicas más importantes de una batería recargable:

- *Densidad energética.* Es la cantidad de energía que es capaz de almacenar la batería en relación a su peso. Se trata del parámetro que influye de manera más destacada en la autonomía y las prestaciones del vehículo, y se expresa en Wh/kg (vatios-hora por kilogramo).
- *Potencia.* Se expresa en W/kg (vatios por kilo) y alude a la potencia que puede proporcionar cada kilogramo de peso de la batería.
- *Eficiencia de carga/descarga.* Es el rendimiento, la relación entre la energía introducida durante la recarga y la que realmente entrega.
- *Ciclos de vida.* Como las de los teléfonos móviles, las baterías de un coche eléctrico pierden capacidad a medida que se recargan y cuentan con un número limitado de ciclos antes de agotarse por completo.
- *Velocidad de recarga.* Es el tiempo que necesita una batería para recuperar toda su energía.

Cabe añadir otra característica importante, el “efecto memoria” que tiene que ver con la utilización. Se produce por las recargas incompletas, es decir cuando se recarga sin haberse descargado por completo. La consecuencia práctica es que reduce la capacidad de la batería. Afecta sobre todo a las baterías de níquel cadmio (NiCd) y, en menor grado, a la baterías de níquel e hidruro metálico (NiMH). Apenas afecta a las baterías de plomo y ácido o las de ion-litio.

A principios del s. XX el coche eléctrico perdió la primacía transitoria que llegó a tener porque las baterías recargables no pudieron competir con las prestaciones de los motores de combustión, sobre todo en autonomía y en facilidad de suministro de combustible. Un siglo más tarde se repite la oportunidad y el

motor eléctrico parte con la ventaja medioambiental pero nuevamente las baterías recargables van a determinar el resultado del proceso.

Conceptualmente, las baterías son dos electrodos y un electrolito. Parece simple pero no lo es en absoluto. Se ha experimentado con muchas combinaciones de materiales tanto para el ánodo como para el cátodo y también con los electrolitos sin resultados a nivel de los requerimientos.

Para tener un panorama de la situación actual se adjunta la tabla comparativa de los principales tipos de baterías existentes en el mercado en 2018. Los valores asignados deben tomarse a título orientativo por cuanto son una foto fija que variará con el tiempo y porque difieren según la fuente de donde proceda.

Desde las baterías recargables de plomo ácido, que han sido las más utilizadas durante mucho tiempo, se pasó a la de níquel cadmio (NiCd) que prácticamente eran la única opción para utilizarla en aparatos portátiles. El cadmio es un metal tóxico y bioacumulable a tal punto que la Directiva Europea de Baterías 2006/66 restringió el uso a procesos industriales no reemplazables. Por esa causa las baterías de níquel cadmio (NiCd) se sustituyeron por las de níquel-metal-hidruro (NiMH), que son menos contaminantes y tienen prestaciones similares a las de NiCd.

En 1991 Sony comercializó las primeras baterías de ion-litio desarrollada a partir de las investigaciones del reciente premio Nobel Akira Yoshino. Primero estuvieron destinadas a dispositivos portátiles y progresivamente han llegado a todos los campos. Actualmente son la mejor opción disponible para los vehículos eléctricos.

La expectativa de la implantación masiva del vehículo eléctrico ha puesto en evidencia la necesidad de mejorar la tecnología actual que no alcanza las prestaciones requeridas. Hay varias líneas de investigación en curso con distintas combinaciones de materiales que no acaban de resultar. A corto plazo las de mejores expectativas siguen teniendo a las baterías ion-litio como referencia de partida y están orientadas más que a la sustitución de esa tecnología, a la mejora de los procedimientos para rebajar el costo de producción y aumentar las prestaciones.

El litio es el elemento número 3 de la tabla periódica. Es decir, está solo por detrás del hidrógeno y del helio y es el primer elemento sólido a temperatura ambiente. Por el lugar que ocupa en la tabla es un metal de bajísima densidad, $0,553 \text{ kg/dm}^3$ (flotaría en el agua) que en estado puro se oxida rápidamente tanto en el aire como en el agua. Además de sus buenas características eléctricas del litio, su baja densidad es una ventaja considerable en comparación con el plomo cuya densidad es $11,340 \text{ kg/dm}^3$, con lo cual se pueden obtener baterías mucho más livianas y a igual de peso, mayor densidad energética. El litio es un mineral poco abundante en la naturaleza y previamente no tenía demanda de consideración. Actualmente las expectativas generadas por el incremento de la demanda, han aumentado las prospecciones y también las reservas conocidas.

Tipos de batería	Ventajas	Desventajas	Características
PLOMO-ÁCIDO Es la más antigua y ha sido utilizada en vehículos convencionales. Suelen ser de 6 y 12 voltios. Se utilizan para funciones de arranque, iluminación o soporte eléctrico. Tiene una autonomía de 100 km	+ Bajo coste + Buena respuesta en frío	- Pesadas - El plomo es tóxico - Recarga lenta	 Ciclo de vida Limitado entre 500 y 800 ciclos de carga-descarga  Densidad Baja (entre 30-40 Wh/Kg)  Mantenimiento Periódico
NÍQUEL-CADMIO Muy utilizada en la industria del automóvil, pero su alto coste de adquisición y su efecto memoria no la convierte en la mejor solución como batería para un coche eléctrico	+ Mayor fiabilidad + Hay técnicas de reciclado total para esta batería	- Alto coste de adquisición - Efecto memoria - Contaminante - Envejece de forma prematura con el calor	 Ciclo de vida Está entre las 1.500 y 2.000 cargas y descargas  Densidad Entre 40-60 Wh/Kg  Mantenimiento Menor que la de plomo-ácido.
NÍQUEL-HIDRURO METÁLICO (NiMH) Los fabricantes de híbridos suelen recurrir a estas baterías con frecuencia	+ Reducción del efecto memoria respecto a las de níquel-cadmio + Eliminan el cadmio	- Menor fiabilidad que las de níquel-cadmio - No soporta fuertes descargas - Menos resistencia al calor y a altas corrientes	 Ciclo de vida Entre las 300-500 ciclos de carga, según el fabricante  Densidad Entre 30-80 Wh/Kg  Mantenimiento Elevado mantenimiento
ION-LITIO (LiCoO2) Baterías de reciente creación que se diferencian de las níquel-cadmio en que tienen más del doble de densidad energética a pesar de ser un tercio más pequeñas. Se posicionan como la mejor solución para el vehículo eléctrico.	+ Alta densidad + Tamaño y peso menor + Más eficiencia + Sin efecto memoria	- Alto coste de producción - Fragilidad - Necesita un circuito de seguridad - Almacenaje cuidadoso	 Ciclo de vida Entre las 300-500 ciclos de carga, según el fabricante  Densidad Entre 30-80 Wh/Kg  Mantenimiento Elevado mantenimiento
ION-LITIO con cátodo de LiFePO4 Se diferencia del anterior en que no usa el cobalto, por lo que es más segura y ofrece mayor estabilidad por su elevada cantidad de hierro	+ Seguridad + Estabilidad por la elevada cantidad de hierro + Potencia	- Menor densidad energética - Mayor coste	 Ciclo de vida Unas 2.000 cargas  Densidad Entre 90-100 Wh/Kg  Mantenimiento No requiere mantenimiento
POLÍMERO DE LITIO (LiPo) Es una variación de las baterías de ion-litio con la ventaja de cuentan con una mayor densidad energética y potencia. De igual modo son ligeras, eficientes y sin efecto memoria	+ Ligeras + Eficientes	- Alto precio - Ciclo de vida corta	 Ciclo de vida Por debajo de las 1.000 cargas y descargas  Densidad Mayor densidad: 300 Wh/Kg  Mantenimiento No requiere mantenimiento

FUENTE: RACE

Figura 50. Abc Motor 05 julio 2018.

No solamente es el litio, en las baterías recargables y en la electrónica en general también intervienen otros elementos minerales de uso novedoso que, aunque en pequeña cantidad, son imprescindibles para conseguir las propiedades requeridas, recordemos el caso de las baterías del *Samsung Galaxy Note 7* que se incendiaban. El problema tenía que ver con el cobalto, que es uno de los ingredientes que controla el calentamiento excesivo de las baterías a medida que ha aumentado la densidad de carga de

las baterías de ión-litio, de ahí su importancia. También el cerio y el lantano intervienen en las baterías híbridas de hidruro metálico NiMh, el neodimio en los imanes de los motores eléctricos grandes o pequeños de cualquier vehículo. Son solo algunos ejemplos.

Estos y otros elementos de la tabla periódica, que eran prácticamente desconocidos para los no expertos han pasado a ser una cuestión relevante de interés geoestratégico. El coltán es el mineral del cual se obtiene el tantalio y el niobio, todos ellos con aplicaciones industriales de muy alto valor. Las mayores reservas conocidas de coltán y también las de cobalto están en la República Democrática del Congo, un estado convulso dominado por facciones armadas, muchas de ellas financiadas por los recursos mineros extraídos sin control. Los suministros carecen de seguridad y el precio de los suministros oscila tremendamente.

Guillaume Pitron es el autor del reciente libro *“La guerra de los metales raros”* que describe este cambio de escenario y los costes políticos y medioambientales en que se incurren. China tiene la mayor producción y las mayores reservas en suelo propio y, además, controla los recursos de otros países por medio de sus empresas con lo cual controla el comercio mundial, como además es el mayor productor de baterías, la situación de dominio produce inquietud en el resto del mundo.

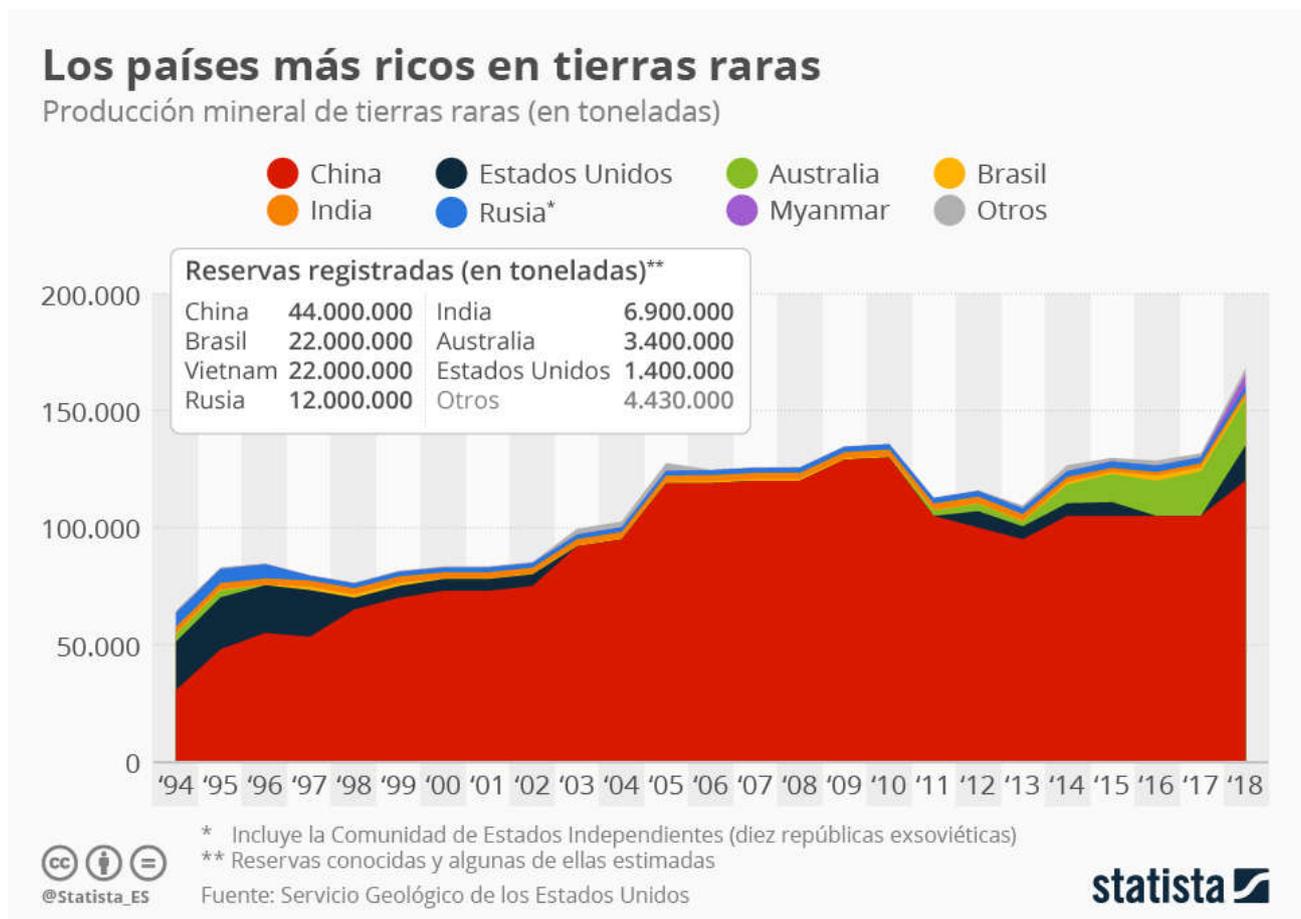


Figura 51. Estadística de la producción y de los países productores. Fuente statista.

Por tanto, si no hay un avance tecnológico en el campo de las baterías recargables que pueda prescindir de estos minerales escasos, caros y bajo control político ajeno, la producción masiva de baterías recargables necesaria para los vehículos eléctricos puede conducir a situaciones imprevisibles.

Y como siempre que se habla de nuevas tecnologías y de nuevos materiales, aparecen el grafeno y la nanotecnología como las soluciones del futuro. Pero ese futuro nunca acaba de concretarse, y además el abuso de los anuncios basados en avances inminentes que acaban sin cumplirse, causan desconfianza.

Volviendo al presente, la cuestión de la autonomía de las baterías y la facilidad de recarga va a ser determinante en la implantación del vehículo eléctrico. En otro contexto y con otras circunstancias se repite la situación que se produjo en el sector a comienzos del s.XX. Las baterías actuales, a pesar de los progresos conseguidos son pesadas, caras y ofrecen autonomía insuficiente. De salida, la confrontación es muy negativa, Phil Barker, ingeniero jefe de Híbridos y Vehículos eléctricos en *Lotus Engineering*, ha dado un dato esclarecedor del estado actual de la cuestión: para conseguir la autonomía que proporcionan 6 kg de gasóleo, se necesitarían 200 kg de baterías, de tal forma que pronto se alcanza un punto en el que son necesarias baterías adicionales para transportar el peso añadido de las propias baterías recargables. Es claro que la densidad energética de la gasolina y del gasóleo es muy grande en comparación con la de las baterías actuales.

Queda por tanto bastantes incertidumbres y un largo camino por recorrer para que las baterías bajen de peso y aumenten en eficiencia, pero también hay muchos intereses en juego y por tanto hay muchos medios de investigación puestos a disposición. Tarde o temprano se obtendrán resultados y aparecerán nuevos tipos de baterías, más eficientes, más ligeras y más baratas. Es el impulso necesario que está esperando el vehículo eléctrico y no parece que ese momento vaya a ser inmediato.

5. El Vehículo eléctrico como alternativa. Ventajas e inconvenientes.

La evaluación del vehículo eléctrico frente al vehículo con motor de combustión ha de realizarse con visión de conjunto pues son muchos los factores que intervienen y todos deben considerarse. El más importante de todos es el relacionado con las características y el comportamiento de los motores respectivos y merece un trato particular.

5.1 Comparación del motor de combustión con el motor eléctrico.

El mejor baremo para comparar es el que atiende a la potencia y al par motor. Ha sido muy interesante encontrar la comparación que hace Nissan de dos de sus coches de características similares, uno con motor eléctrico (*Nissan Leaf*) y el otro de motor de gasolina (*Nissan Qashqai 1.6*), ambos producidos en serie. Que sea el mismo fabricante quien los evalúe da fiabilidad a los resultados.

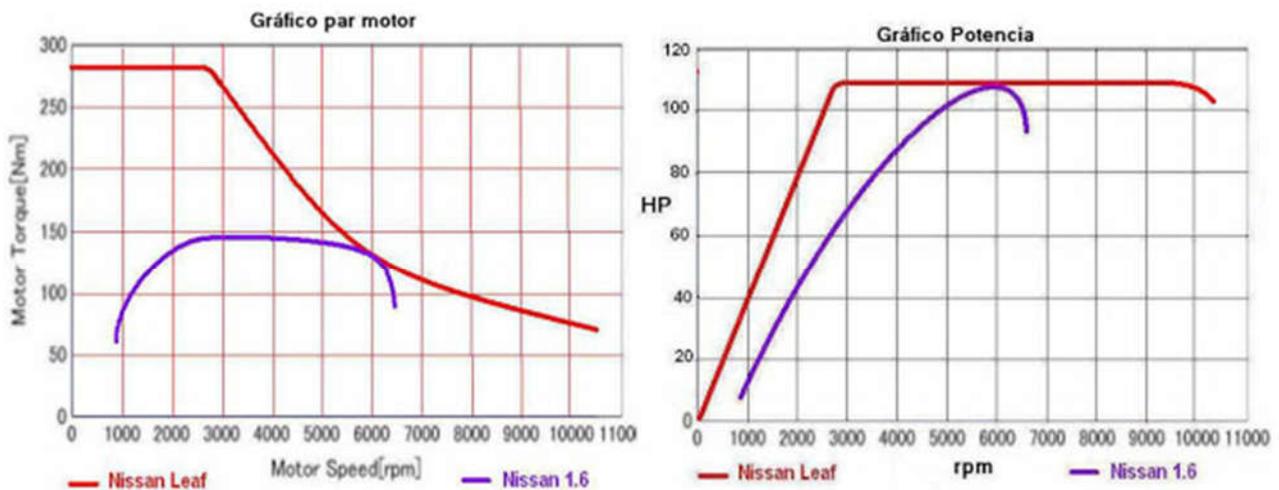


Figura 52. Gráficos Potencia y Par Motor.

En estos dos gráficos se ve la diferencia del comportamiento de ambos motores. En el gráfico de la potencia se ve que ambos alcanzan una potencia similar, del orden de 109 HP (≈ 110 CV y ≈ 80 kW) a un régimen de 6.000 rpm. También se ve que, en cualquier otro régimen el motor eléctrico desarrolla mucha más potencia que el de gasolina. A 1.000 rpm, más del triple, a 2.000 rpm más el doble y a 3.000 rpm, del orden de un 75% más. La potencia del motor se estabiliza en máximos y la del motor de combustión crece hasta el 6.000 rpm y luego decae. Por eso cuando la gente prueba un coche eléctrico por primera vez, se sorprende por la sensación de potencia a velocidades bajas o medias. No es una sensación, es real. A bajas revoluciones es mucho más potentes que un vehículo de combustión equivalente.

El gráfico del par motor (*torque*) es igualmente ilustrativo, hasta el 1.000 rpm. el motor eléctrico tiene un par del orden de cinco veces más. El motor de combustión tiene el par máximo en la zona

comprendida entre las 2.500 y las 6.000 rpm. Y, únicamente en ese rango, se iguala con el del motor eléctrico que siempre ha ido por encima.

Hay que tener en cuenta que las mediciones del fabricante se han realizado en banco de pruebas llevando los motores al límite. En el uso normal no suele sobrepasarse 4.000 rpm y hasta alcanzar ese régimen de revoluciones, la ventaja del motor eléctrico es manifiesta.

Otro aspecto diferenciador de orden práctico es que el motor de combustión no puede de girar por debajo del régimen de ralentí (unas 700 rpm). En esas condiciones el giro se vuelve inestable y el motor se cala. En cambio, el eléctrico es capaz de girar igual de equilibrado y con la misma fuerza (par motor) a 20 rpm. que a 2.000 rpm. y ya desde 0 rpm. dispone del par máximo. El motor eléctrico no necesita girar al ralentí cuando el vehículo está parado, ni tampoco un embrague para iniciar la marcha.

Es claro que para el motor eléctrico la comparación en las prestaciones resulta ventajosa y que cuando se utiliza todo es más sencillo.

5.2 Comparación del vehículo de combustión con el vehículo eléctrico.

Se consideran solamente algunos de los aspectos más significativos que intervienen en la evaluación y se podrían añadir otros, ya que está hecha desde la perspectiva del vehículo eléctrico:

- a) Ventajas del vehículo eléctrico respecto al de combustión.
 - Los motores eléctricos no producen emisiones de gases contaminantes.
 - Los motores eléctricos tienen menos piezas móviles, son más livianos, y necesitan menos mantenimiento. Carecen de circuito de lubricación (engrase).
 - Los motores eléctricos no necesitan circuito de refrigeración convencional puesto que no hay combustión y no se genera calor en cantidad.
 - Los motores eléctricos son más suaves de conducción, tienen menos vibraciones y son más silenciosos.
 - Los motores eléctricos, producidos en grandes series, son más baratos.
 - Los motores eléctricos no necesitan embrague ni cambio de marchas, salvo el inversor de avance o retroceso.
 - Los motores eléctricos tienen mejor aceleración a vehículo parado y mejor recuperación desde velocidades bajas y medias.
 - Los motores eléctricos son más baratos de consumo por km recorrido, teniendo en cuenta los precios de la electricidad y de los combustibles convencionales.
 - Los motores eléctricos son más eficientes en el tráfico urbano, donde el consumo de combustible de los motores convencionales aumenta considerablemente.

- b) Desventajas del vehículo eléctrico respecto al de combustión.
- Las baterías recargables tienen poca autonomía y la recarga es lenta.
 - La red de puntos de recarga está muy poco extendida, lo cual dificulta la movilidad.
 - Las baterías recargables son muy pesadas y aumentan el peso del vehículo.
 - La vida útil del vehículo probablemente requerirá la renovación de las baterías al superar el límite del número de ciclos de carga. La reposición sería un costo importante a considerar.
 - El precio actual del vehículo eléctrico es más caro que el del equivalente con motor convencional debido al alto costo de las baterías actuales que pueden alcanzar hasta la tercera parte del precio total del vehículo según el modelo de que se trate.
- c) Conclusión. De todo lo que antecede es claro que ateniéndose exclusivamente a los aspectos mecánicos el vehículo eléctrico tiene ventajas sobre el vehículo convencional, pero tiene el inconveniente del precio y el inconveniente funcional de la autonomía insuficiente que proporcionan las baterías actuales. El curso de la investigación determinará el resultado.

5.3 El vehículo híbrido como solución transitoria.

Las limitaciones medioambientales han propiciado la aparición de los vehículos híbridos que explican muy bien el estado de la cuestión. El gran problema de la autonomía del vehículo eléctrico puro que se debe a las limitaciones de las baterías recargables, los vehículos híbridos lo resuelven de la forma más convencional: con un motor de combustión adicional.

Es la misma solución llevada al extremo que ya se utiliza en los automóviles convencionales. Hay una batería recargable que provee al motor eléctrico de arranque y al resto de los consumos eléctricos y hay un motor convencional, normalmente de gasolina, que además de impulsar el vehículo recarga la batería.

El coche híbrido utiliza el mismo esquema variando la importancia de los elementos que lo integran. Las baterías son de más capacidad y de más peso. El motor eléctrico ya no sirve solamente para el arranque, es mucho más potente y también participa en la tracción del vehículo. El motor de combustión es menos potente, sigue participando en la tracción y además le corresponde la función como generador eléctrico mediante un alternador acoplado.

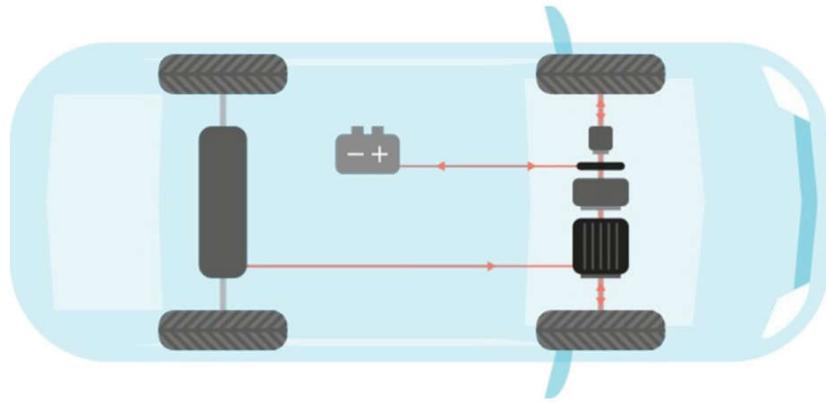


Figura 53. Vehículo Híbrido. Imagen proporcionada por TECMOVIL.

Por consiguiente, el coche híbrido tiene dos sistemas de propulsión, el eléctrico y el de combustión que pueden funcionar conjuntamente o por separado según sean las condiciones de la conducción.

En principio la duplicidad sorprende, supone más complejidad mecánica, más peso (las baterías) y por consiguiente más precio. Otras justificaciones matizan la apreciación, son las que tienen que ver con la conducción eficiente, la potencia y el par del motor de combustión.

Partiendo de vehículo parado entra en funcionamiento solamente el motor eléctrico porque a baja velocidad (bajo régimen rpm.) el motor de combustión es poco eficiente. Cuando se alcanza la velocidad de cruce funciona el motor de combustión en la zona de par máximo y si dispone de potencia adicional simultáneamente también recarga la batería. En el caso de que se requiera un máximo de potencia actúan ambos motores. En el proceso de parada, se desconecta el motor de combustión y se utiliza parte de la energía de frenado para recarga de la batería.

Por tanto, toda la energía que se consume en los coches híbridos convencionales proviene del motor de combustión y el consumo se mide en litros de combustible como en cualquier vehículo convencional. También los hay enchufables, pero son escasos y no representativos.

Los catálogos de los fabricantes y los comentaristas de los medios especializados siempre hacen referencia a la recuperación de energía durante el proceso de frenado, es un tema sugerente que capta la atención. Unos cálculos sencillos ponen en claro la verdadera importancia.

La energía cinética de un móvil de masa (m) y velocidad (v) como es sabido es: $E_c = \frac{1}{2} m v^2$.

En la tabla siguiente de elaboración propia se supone un vehículo de 1.000 kg de peso y se consideran varias velocidades. Operando con unidades homogéneas en el S.I. (Sistema Internacional de Unidades) se obtiene la energía total en julios y la equivalencia en kWh. Son los resultados de la penúltima columna.

Energía Cinética recuperable de la frenada						
Peso Kg.	Masa utm	v Km/h	V m/seg,	Energía Julios	Kwh	25% Kwh
1.000	9.810	20	5,56	1,5139E+05	0,04	0,01
1.000	9.810	30	8,33	3,4063E+05	0,09	0,02
1.000	9.810	40	11,11	6,0556E+05	0,17	0,04
1.000	9.810	50	13,89	9,4618E+05	0,26	0,07
1.000	9.810	100	27,78	3,7847E+06	1,05	0,26

Tabla 3. Energía cinética recuperable de la frenada en función de la velocidad del vehículo por unidad de masa.

Hay que considerar que no toda la energía de la frenada es recuperable, pues parte se pierde en rozamientos y además, para que así fuera, la distancia de frenado sería inadmisibile. Al aplicar el freno la mayor parte de la energía cinética se disipa en calor y solo el resto es recuperable en electricidad. Se ha estimado el 25% como coeficiente de aprovechamiento útil y así se ha obtenido la última columna. El resultado es que tanto si se circula en tráfico urbano, con muchas paradas a baja velocidad, como si se hace en tráfico abierto con pocas paradas y a mayor velocidad, la recuperación de energía cuantitativamente es irrelevante con poca incidencia en el consumo de combustible.

El buen rendimiento que los coches híbridos consiguen en el tráfico urbano respecto a los convencionales se debe al empleo que hace del motor de combustión. Es bien sabido que estos motores tienen un consumo mayor en tráfico urbano y es porque en esas condiciones funciona alejados de la zona de par máximo. La ventaja que aporta el sistema híbrido es que el motor de combustión siempre funciona en el régimen eficiente, el resto lo cubre el motor eléctrico. En tráfico abierto la ventaja desaparece y los consumos serían similares

Por tanto, el coche híbrido está primordialmente dirigido al uso en zonas urbanas que es donde ejerce sus ventajas. También está favorecido por la normativa medioambiental de las grandes ciudades que restringen el uso de los coches convencionales, lo cual no tiene demasiado sentido por cuanto las emisiones son las propias de un motor de combustión, pero esa interpretación le beneficia.

Sea como fuere, la producción mundial de coches híbridos ya alcanza cifras importantes, a diferencia de los eléctricos puros que no consiguen despegar. En 2016 ya circulaban 8 millones de coches híbridos en todo el mundo y la cifra es creciente lo que demuestra que la demanda existe. Pero el coche híbrido no es más que un anticipo transitorio y un banco de pruebas de los motores y de las baterías hasta que se resuelvan las limitaciones actuales en autonomía y facilidad de recarga. Mientras tanto seguirán ocupando el nicho de mercado que el futuro tiene reservado a los eléctricos puros.

6. Las consideraciones medioambientales como causa inductora.

El sector de la automoción, dada su enorme dimensión, ha solido proceder con gran inercia, tanto por el lado de la oferta como por el de la demanda. Los avances técnicos y las mejoras en equipamientos se iban produciendo con continuidad, pero sin sobresaltos al mismo tiempo que los fabricantes intentaban anticiparse a las tendencias del momento o incluso creándolas para aventajar a la competencia. Era la mayor o menor aceptación de los usuarios la que determinaba el éxito o el fracaso de la propuesta.

Con todo lo relacionado con el vehículo eléctrico se ha producido una situación diferente. No son los fabricantes ni tampoco los consumidores los que han propiciado la iniciativa para desarrollar el vehículo eléctrico porque no sentían la necesidad de hacerlo: han sido las administraciones públicas las que lo han propiciado motivadas por causas medioambientales externas al sector,. Pero si bien no era previsible que el proceso se hubiera producido por la propia dinámica del sector ahora, una vez iniciado, también es difícil que se detenga.

6.1 El cambio climático. El dilema del estudiante.

En la segunda mitad del siglo pasado científicos de todo el mundo ya estaban preocupados por la cuestión del sostenimiento del estado del planeta, cuyo deterioro ya era evidente. Se crearon algunos organismos pioneros para recoger y canalizar estas inquietudes y el que alcanzó mayor relevancia inicial fue el Club de Roma, fundado como organización no gubernamental en 1968. En 1972 publicó un informe titulado “Los límites del crecimiento” encargado al MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) que tuvo una repercusión considerable; tanto por sus conclusiones, que alertaban de los riesgos incurridos, como por abrir el camino a la aparición de muchas otras instituciones supranacionales que lo han continuado.

En 1988 se crea, bajo los auspicios de la ONU, el Grupo Internacional de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC: *Intergovernmental Panel on Climate Change*) que, de inmediato, perciben que el aumento de la temperatura del planeta es una gran amenaza a la que se enfrenta el futuro la humanidad. Luego han aparecido otros organismos involucrados, se han celebrado varias cumbres, se han aprobado protocolos y resoluciones con resultados positivos pero insuficientes. Lo que sí se ha conseguido es que haya conciencia mundial de la amenaza, lo cual es, sin duda, uno de los mayores logros.

Aparte de algunas interpretaciones negacionistas que se han hecho por motivos interesados y sin base científica, el cambio climático es un hecho contrastado e indiscutible y hay consenso general en que las emisiones de gases de efecto invernadero son la causa primordial del aumento de la temperatura del planeta.

El efecto invernadero es un fenómeno atmosférico natural que retiene parte del calor de la superficie de la tierra, lo cual ha hecho posible la vida tal como la conocemos. Actualmente la temperatura media del planeta es 15°C y hay estudios teóricos que determinan que sin el favorable efecto invernadero

esa temperatura media sería de -18°C , lo que lo haría inhabitable. El cambio climático hay que entenderlo como la consecuencia del equilibrio termodinámico que se produce entre la interrelación de la superficie terrestre y la atmosfera en el cual las tres variables fundamentales son: la energía en forma de calor que llega al planeta procedente del sol; la energía en forma de calor, que se irradia al espacio; y la temperatura resultante del sistema. Es una cuestión de una complejidad extraordinaria. El balance de la energía recibida y la pérdida por radiación con el tiempo debe tender a cero y los desajustes que se producen llevan al aumento o disminución de la temperatura del planeta. En este proceso los gases de efecto invernadero dificultan la radiación y por consiguiente la temperatura aumenta.

La preocupación actual es la constatación de que el delicado equilibrio de la atmosfera se ha perturbado a causa de la acción humana. Hay varios factores que intervienen en el proceso y el más importante, aunque no el único, es la utilización masiva de combustibles fósiles que han aportado ingentes cantidades de gases de efecto invernadero (GEI), que es preciso reducir para mitigar el cambio climático.

En esta tabla de 2014 de la Organización Meteorológica Mundial se hace una relación y un análisis de los gases de efecto invernadero por su procedencia, por su influencia y por la duración de sus efectos. La primera cuestión que aparece en esta tabla es que el CO_2 no es el único gas con efecto invernadero. Es desde luego el más importante cuantitativamente, $\frac{2}{3}$ del total, y el que tiene más clara la trazabilidad para poder actuar sobre él, pero no se puede olvidar que hay $\frac{1}{3}$ restante de procedencias distintas que también cuenta.



Figura 54. Gases de efecto Invernadero. Procedencia "El cambio Climático" pág. 11 FAO 2018.

Hay un ciclo natural del CO₂, que ha permanecido estable o al menos con variaciones muy lentas por el cual mediante la fotosíntesis la vegetación absorbe el CO₂ de la atmósfera y lo transforma temporalmente en materia orgánica que al descomponerse retorna el CO₂ a la atmósfera en un equilibrio en continua autorregulación. Ese equilibrio se ha alterado desde los comienzos de la revolución industrial por la combustión del carbón y posteriormente también de los hidrocarburos, petróleo y gas natural.

La tabla siguiente elaborada por la NASA en 2017 da cuenta de la evolución de la cantidad de CO₂ en la atmósfera desde el comienzo de la Revolución Industrial y marca el nivel 400 como referencia para que el aumento de la temperatura como mal menor no supere los 2°C.

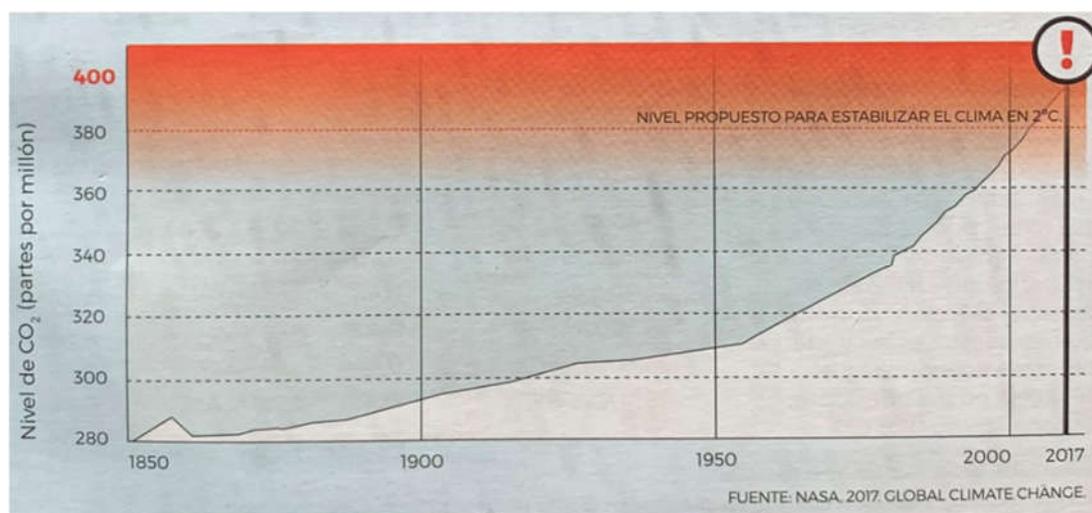


Figura 55. Evolución CO₂ Procedencia "El cambio climático" pág17 FAO 2018.

En esta tabla se ve claramente la evolución del nivel de CO₂ en la era industrial. El último dato conocido es que la concentración en la atmósfera en mayo de 2019 ha alcanzado 415 ppm. con lo cual ya se sale de la gráfica. También es destacable que la presencia de CO₂ se mide en ppm es decir en partes por millón respecto al total. Por tanto 415 ppm equivalen al 0'0415% que en comparación con el 78% del Nitrógeno y del 21% del Oxígeno es una proporción insignificante. La proporción del Metano (0.000179%) es todavía mucho menor, aunque en ambos casos sus efectos son determinantes en el cambio climático como se ha visto en la tabla anterior.

Al plantear el vehículo eléctrico como alternativa al motor de combustión, es importante para este estudio conocer la participación del motor de combustión en las emisiones totales de CO₂. Hay muchos organismos que aportan datos al respecto que en ocasiones son dispares e incluso contradictorios. Por supuesto habrá diferencias según el ámbito que se considere: mundial, europeo o nacional, pero incluso con salvedad hay diferencias que no parecen justificables, probablemente por aplicar metodologías no homogéneas en la asignación por sectores.

Se aportan datos de dos organismos relevantes, el Grupo Internacional de Expertos sobre el Cambio Climático (ICPP) y el servicio de publicaciones de la Unión Europea. Ambos son organismos solventes y sorprende la diferencia en las valoraciones que ambos hacen del sector del transporte como emisor de GEI que van del 14% al 22%. En general las estadísticas disponibles de otros organismos publicados en diferentes medios, le dan valores más altos que los del ICPP. En todo caso es evidente que la aportación del sector del transporte es importante y además lo novedoso es que hay una respuesta visible en el vehículo eléctrico.

Conocer la realidad de las emisiones en cada país o en cada región del mundo tiene interés para adquirir conciencia del problema cercano, pero cualquier distinción entre valores nacionales o mundiales carece de sentido por cuanto la circulación atmosférica traslada y reparte las emisiones por todo el planeta con independencia de en donde se han producido. Por tanto, solamente una acción global y concertada puede obtener resultados.

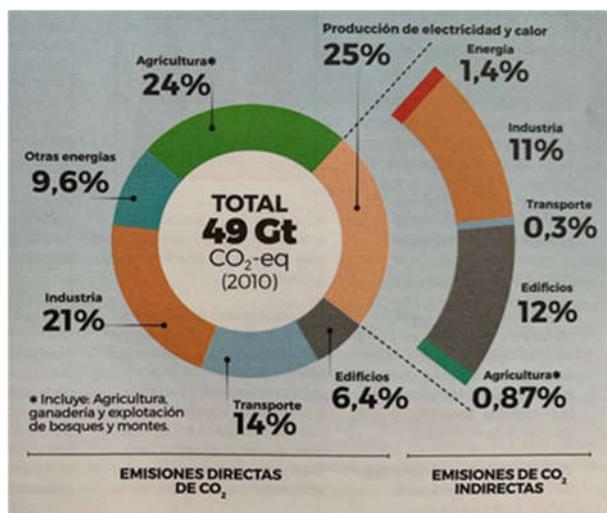


Figura 56. Emisiones de CO₂ por sectores. Fuente ICPP

Emisiones de CO₂ en la Unión Europea - 2016

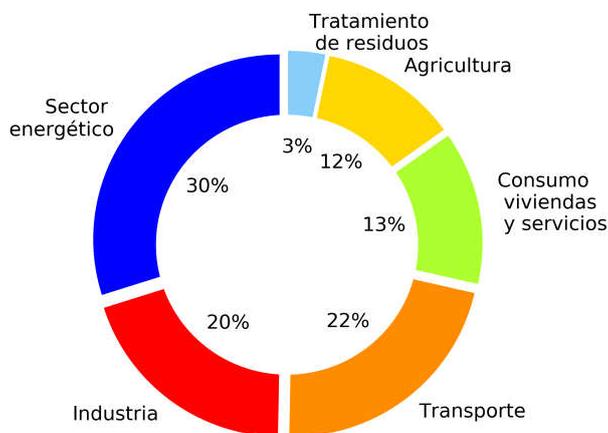


Figura 57. Emisiones de CO₂ por sectores en la UE. Fuente Agencia Europea de Medio Ambiente

El cambio climático, como señalan estos datos, no solo es consecuencia de las emisiones de GEI y de CO₂ producidas por los combustibles fósiles, hay otros sectores que también los producen, la agricultura y la ganadería en particular. La cuestión es más compleja e intervienen más factores. También influye la deforestación de las selva amazónica e indonésica y en general el criterio de usar y tirar que prevalece en el modo de consumir. Y no debemos olvidar el crecimiento desaforado de la población mundial que ha pasado de mil millones en 1900 a cuatro mil millones en 1950 y a más de ocho mil millones en la actualidad. La mayoría del aumento se ha producido en países en vías de desarrollo pero que, lógicamente, aspiran a alcanzar los niveles de bienestar (y de contaminación) de los países desarrollados. Esto nos devuelve a “Los límites del crecimiento”, el estudio inicial del MIT para el Club de Roma, con el cual empezaron muchas cosas en la conciencia ecológica universal.

El resultado de la política de comunicación de los distintos organismos involucrados ha sido un éxito. Cabe decir que, actualmente, sería difícil encontrar personas razonablemente informadas que no conozcan las amenazas del cambio climático y que no estén a favor de aplicar las medidas necesarias. Pero análogamente, también sería bastante difícil encontrar a personas, no digamos gobiernos, que estén realmente dispuestos a asumir los costes de implantar las medidas necesarias en sus países y en sus conductas.

Estos costes asociados serían muy altos y muy difíciles de repartir porque, sobre todo en los países en desarrollo, se suele considerar la contaminación como un precio necesario para el progreso económico al que no se quiere renunciar. Aparece entonces el concepto del costo diferido, el que va a suponer en el futuro las consecuencias del cambio climático que ya son indudables y evidentes: aumento de las temperaturas medias, destrucción de la capa de ozono, alteración de equilibrios ecológicos, aumento de las sequías, aumento del nivel del mar amenazando zonas densamente pobladas, desplazamientos masivos de poblaciones etc. Evidentemente esos costes serán muy superiores a las correcciones preventivas que actualmente se podrán aplicar, pero no se aplican. Lo que se aplica ahora es el dilema del estudiante:

El padre de un hijo a punto de terminar los estudios secundarios, le hace la siguiente propuesta:

¿Qué prefieres, que te compre un coche cuando acabes en la Universidad o una bicicleta cuando acabes en el Instituto?

Y la respuesta previsible es:

Venga la bicicleta.

6.2 La contaminación atmosférica. La variante del dilema del prisionero.

Evidentemente hay relación entre el cambio climático que es una cuestión global que afecta a todo el planeta y la contaminación atmosférica que es una cuestión local que afecta fundamentalmente a las grandes ciudades. En ambos casos hay en parte un origen común que es la emisión de los gases de efecto invernadero, pero la cuestión se percibe de forma diferente en las grandes ciudades, donde hay un problema en la calidad del aire y en ese ámbito las cosas funcionan de manera distinta.

En el ámbito de las grandes ciudades la contaminación atmosférica es un problema producido fundamentalmente por el tráfico urbano de vehículos con motores de combustión que emiten a la atmósfera, no solo CO₂ con efectos de invernadero, además emiten óxidos nitrosos NO_x, CO, restos de hidrocarburos y otras partículas contaminantes. En consecuencia, en ciudades muy pobladas y en circunstancias atmosféricas con ausencia de vientos que dispersen el aire contaminado, se produce una nube de contaminación que afecta a la vida ya la salud de las personas. Para ello hay una normativa europea que cuantifica los límites aceptables y determina el grado de aceptabilidad y cuando se rebasan esos niveles es necesario tomar medidas para restringir la circulación de los coches privados.

Tengamos en cuenta que en las grandes ciudades se acumula el poder económico, el poder político, el poder fáctico y por tanto la capacidad de decisión. Si como consecuencia de esos problemas, se establecen normas generales sobre la emisión de los vehículos, estas no afectan solamente a los que circulan por esas ciudades, sino que afectan a todos los del país de que se trate, independientemente de que en el medio rural o en las ciudades medias o pequeñas el problema de la calidad del aire no sea relevante. Y esto es lo que va a suceder.



Figura 58. Imagen de la contaminación en el acceso de una gran ciudad. Imagen disponible en la red.

Así es que la calidad del aire de las grandes ciudades ha sido determinante en la política de la transición al coche eléctrico y en general con todas las políticas relacionadas, incluso en algunos cambios recientes de criterio.

Cuando se empezaron a considerar las consecuencias del cambio climático se hizo hincapié en el CO₂ como agente principal del efecto invernadero y siendo que el motor diésel emite menos CO₂ a igualdad de potencia, se preconizó el uso de estos motores. Como consecuencia de esta política, los automóviles con motores diésel aumentaron notablemente la participación en los parques automovilísticos. Esta percepción ha cambiado y actualmente se rechazan por cuanto como ya se ha visto, al tener una mayor relación de compresión, se producen temperaturas más elevadas en la cámara de combustión y como consecuencia se generan otros gases contaminantes, en particular NO_x porque a las altas temperaturas que se alcanzan el N₂ y el O₂ se combinan en forma de óxidos de nitrógeno que afectan a la calidad del aire que respiramos.

Cuando hubo conciencia del problema de las emisiones contaminantes, los fabricantes instalaron catalizadores en los tubos de escape en detrimento del rendimiento del motor, pero aun así el resultado se consideraba insuficiente en términos medioambientales. En consecuencia, las reglamentaciones de los organismos europeos rebajaban sucesivamente los valores admisibles de las emisiones más allá de lo que permitía la tecnología del momento. Esta situación propició el gran escándalo que se produjo en 2015 cuando se descubrió que Volkswagen había instalado un software ilegal en sus motores diseñado para alterar los resultados de las pruebas de emisiones contaminantes que, de otra manera, no cumplirían los requisitos. También fue significativo que nadie alertara de lo que debió ser un secreto a voces, porque la competencia sabía que los resultados no eran verosímiles, cosa que se podía comprobar sin dificultad por cuanto los coches trucados estaban en el mercado y a disposición de cualquier interesado que quisiera investigarlo.

Se produjo un cambio de criterio y los fabricantes tuvieron que adaptar sus líneas de producción en detrimento de los de gasóleo y en favor de los motores de gasolina que, según el criterio actual, son menos contaminantes en NO_x aunque contaminen más por CO₂

No han sido las normas nacionales de los distintos estados ni las normas europeas las que han restringido el uso de los motores de combustión. Habrán penalizaciones por incumplimiento de los límites de las emisiones de los nuevos vehículos pero al menos por el momento no hay restricción para los existentes. La legalidad respecto al parque actual la han modificado los grandes municipios que, dentro del ámbito de sus competencias, están limitando el acceso de los vehículos de motor de combustión. Indirectamente son los mayores valedores y los que más favorecen el horizonte del vehículo eléctrico puro que no emite gases contaminantes.

Hay que decir que, por el momento, sustituir los combustibles fósiles por energía eléctrica es un argumento parcialmente falaz. Actualmente la mayor parte de la electricidad se genera en lugares distantes

de los centros urbanos mediante centrales térmicas que todavía utilizan carbón o gas natural, emitiendo gases de efecto invernadero; o en centrales nucleares con problemas a largo plazo de gestión de residuos radioactivos que la opinión pública rechaza. Es decir, que mientras no haya un cambio en el modelo de generación eléctrica por otro basado en energías renovables, la contaminación y la emisión de gases de efecto invernadero de los vehículos de combustión se traslada fuera del medio urbano pero siguen las emisiones que afectan al cambio climático.

A este caso le es aplicable una variante del conocido “dilema del prisionero”. La contaminación por emisión de gases de efecto invernadero que se produzca en cualquier lugar del mundo alcanza a la atmósfera que es común a todo el planeta con independencia de dónde se origina. Por tanto, poco importa que alguien cumpla con las directrices y quien no, lo que importa es el cumplimiento global: si yo cumplo, pero los otros no, yo me perjudico; si yo no cumplo, pero los otros sí, me beneficio. La consecuencia es que el estímulo de los cumplidores disminuye porque no perciben que la relación directa entre el coste del esfuerzo y el resultado obtenido sea suficiente. Pero en las grandes ciudades hay un problema en la calidad del aire que respiran y ahí las cosas funcionan de manera distinta porque se rompe el esquema anterior y se sustituye por otro más tangible: si yo cumplo, yo me beneficio. Por tanto, hay una diferencia sustancial con la gestión del cambio climático porque en este caso se percibe claramente que hay una relación directa de causa-efecto y que las medidas restrictivas adoptadas tienen efectos inmediatos que estimulan su cumplimiento.

7. El vehículo eléctrico como solución respetuosa con el medio ambiente.

Las intervenciones medioambientales más concretas y más eficaces que se pueden abordar, tanto a escala global con el cambio climático, como a escala local con la contaminación de la atmósfera, coinciden en un objetivo común prioritario, que es la reducción del consumo de combustibles fósiles, y para conseguirlo el vehículo eléctrico es la respuesta. Para la contaminación del aire que respiramos es condición suficiente, para mitigar el cambio climático además es necesario que la electricidad que se consuma provenga de fuentes renovables.

En este contexto la transición al vehículo eléctrico está acordada por los gobiernos de algunos de los países más desarrollados y está asumida por los fabricantes principales. Así se ha decidido y así va camino de serlo, lo cual no obvia ser consciente de las dificultades inmediatas que habrá que superar para alcanzar el objetivo.

7.1 Operatividad. La recarga de las baterías.

El mayor problema de las baterías actuales no es solamente cuestión de autonomía, también hay un problema adicional con la recarga. En realidad, son las dos caras de la misma moneda puesto que si la autonomía fuera mayor las recargas no serían tan frecuentes y viceversa, si la recarga fuera fácil (rápida) la autonomía tendría menos importancia.

Las baterías recargables son como el depósito de combustible de un coche convencional y su capacidad en lugar de medirse en litros se mide en kWh. El tiempo de llenado, es decir el tiempo de recarga, dependerá por consiguiente del caudal de la manguera del suministro que en el caso eléctrico se corresponde con la potencia en kW de la conexión eléctrica que se utilice. El símil es válido, pero resulta insuficiente ya que la recarga de las baterías no se produce de manera uniforme y es más lenta al principio si se parte de descarga total y también al final de la carga si se quiere completa. Es lo mismo que sucede en las baterías de los teléfonos móviles. Por tanto, si se pretende no alargar el tiempo de recarga en demasía, conviene no completar la carga, lo cual naturalmente redundará en detrimento de la autonomía conseguida en el proceso. Lo más apropiado es no agotar la batería por debajo del 10% y no recargar por encima del 90%, aprovechando solamente 80% de la capacidad, lo cual, además de optimizar el tiempo de la recarga, favorece la duración de la batería.

La determinación del tiempo de carga es muy sencilla conocidas la capacidad de la batería y la potencia del conector.

$$E = \eta * W * t$$

o lo que es lo mismo:

$$t = E / \eta * W$$

Siendo E la energía de la recarga, W la potencia del cargador y t el tiempo de la recarga medido en horas.

Al estar la potencia medida en kW y la energía medidas en kWh, el cálculo se simplifica.

El resultado teórico está afectado por un coeficiente η de rendimiento que es fácil de determinar experimentalmente y que, como en cualquier proceso de transformación energética es menor del 100%. Por tanto, los tiempos reales serán algo mayores que los teóricos. Lo importante es tener presente la sencilla relación que hay entre las tres variables porque evita interpretaciones erróneas e incluso algunas inverosímiles que a veces circulan en los medios de comunicación.

Para conocer estas cuestiones con más detalle y más precisión en los resultados es muy útil la calculadora de tiempos de recarga que proporciona la página web de la *Liverpool Energy Community Company* (Leccy).

Para la recarga de particulares hay varios modelos de enchufes que difieren en la potencia de carga. Se hace mención de tres que luego se valoran en la tabla de tiempos de carga.



Figura 59. Modelos de enchufes para recarga de baterías Imagen procedente de computerhoy.com.



Figura 60. Modelos de enchufes para recarga de baterías Imagen procedente de computerhoy.com.



Figura 61. Modelos de enchufes para recarga de baterías Imagen procedente de computerhoy.com.

El modelo de arriba es el más sencillo de todos y no requiere adaptación. Es un enchufe convencional de los que utilizamos habitualmente y que ahora nos hemos enterado que se conoce como Schuko. Utiliza corriente alterna monofásica y admite hasta 10 amperios con 2'3 kW de potencia teórica. Con tan baja transmisión de energía, la recarga es muy lenta, la ventaja es que puede instalarse en la red doméstica sin necesidad de modificar la instalación.

El modelo del centro es de carga semirrápida. Es de los llamados *Wallbox*, tiene 11 kW de potencia que corresponden a 50 amperios a 220 V. Usa corriente alterna trifásica y requiere una instalación propia desde el cuadro eléctrico del edificio con contador incluido.

Y, por último, el modelo de abajo es el Green UP para cargadores de baterías. Es más fiable, más robusto y algo más potente, 3'7 kW, pero las limitaciones son similares. También utiliza corriente alterna monofásica con limitación de 16 amperios. Es el más adecuado para aparcamientos privados con estancia nocturna.

Tiempos teóricos de recarga	Lento Schuko (2,3 kW)	Recarga Green UP (3,7 kW)	Recarga Semirrápida Wallbox (11 kW)	Recarga Rápida (50 kW)
Tesla Model 3 (75 kWh)	32'60 h.	20'27 h.	6'80 h.	1'56 h.
Nissan Leaf 2018 (40 kWh)	17'40 h.	10'81 h.	3'64 h.	0'80 h.
Opel Ampera-e (60 kWh)	26'10 h.	16'21 h.	5'45 h.	1'20 h.
Tesla Model X100D (100 kWh)	43'50 h.	27'03 h.	9'10 h.	2'00 h.
Volkswagen e-Golf (36 kWh)	15'65 h.	9'73 h.	3'30 h.	0'72 h.

Tabla 4. Tiempos de recarga. Basada en la publicada por Fernando Coello en computerhoy.com.

Los sistemas de carga rápida de 50 kW son los que se utilizan para uso público en las electrolinerías y similares.

Esta tabla se ha considerado para recarga completas y para rendimientos teóricos. Los decimales lo son en el sentido habitual, en base decimal, y no corresponden a fracciones de hora en minutos, que se mide en base sexagesimal. Con recargas parciales del 80% en el intervalo 10% al 90%, el tiempo se reduce proporcionalmente.

Naturalmente si aumentase la potencia de carga disminuiría el tiempo de la operación, pero en este campo, como en mucho de lo que rodea al vehículo eléctrico y a las baterías recargables, se confunde la

realidad con las previsiones, los sistemas en uso con otros que están en fase de investigación y lo cierto es que, por ahora, los hechos todavía no acompañan a las intenciones.



Figura 62. Parte del repertorio de conectores de baterías. Imagen procedente de Expansion.com.

De momento lo que hay es un conflicto de formatos de conectores de carga, puesto que los grupos más importantes han producido sus propios cargadores, que son incompatibles con los de la competencia, y por tanto cuando se elige un coche para comprarlo hay que estar atento a la recarga que se le ofrece. Es un proceso habitual que ha habido en otros sectores como por ejemplo en los cargadores de las baterías de los móviles donde finalmente se impuso un modelo compatible para todas las marcas. En este caso los intereses en liza son muy importantes y todavía falta camino por recorrer.

Hay un indicador claro del estado de la cuestión de la recarga de las baterías que es la Fórmula E. hecha a imagen y semejanza de la exitosa Fórmula 1. Fue creada en 2014 para la competición de monoplazas eléctricos y son un exponente de la situación del sector y un banco de pruebas de las innovaciones. Los coches alcanzan velocidad punta de hasta 300 Km/h y los motores eléctricos consiguen potencia de 200 kW con muy poco peso. Entre ambas competiciones hay similitudes y también algunas diferencias importantes en la organización y en el desarrollo de las carreras, acordes con las características de los vehículos en competición. Es el caso de la duración de las carreras, que en la F1 es del orden de dos horas y en la Fórmula E de tan solo una hora, pero lo más sorprendente es que en la F1 los coches se detienen en brevísimos instantes durante la carrera para cambiar los neumáticos y repostar combustible en una demostración increíble de precisión y rapidez de la que todos los aficionados están pendientes. En la Fórmula E la parada que hacen los pilotos a media carrera también es breve y precisa pero no es para repostar sino para cambiar de coche pues la recarga inmediata de la batería no es posible y sustituirla con la rapidez necesaria no es viable. Es decir, para hacer el recorrido del circuito, cada piloto ha de utilizar dos coches. Conscientes de que esta limitación menoscaba el lustre de la carrera, los organizadores pretenden

evitarlo en las próximas temporadas con las mejoras que se esperan en las baterías e incluso si no fueran suficientes, a costa de rebajar la duración de las carreras en detrimento del espectáculo. Otro dato a tener en cuenta en esta comparativa son los aproximadamente 300 km que recorren los pilotos de F1 frente a los 100 km que conducen los Fórmula E en cada Gran Premio. Es un claro exponente del estado de la cuestión.

7.2 La reconversión de las gasolineras en electrolinerías. El espacio y el tiempo.

Un nuevo vehículo requiere una nueva red de suministro, pero para que funcionen ambos deben avanzar acompañados porque en caso contrario el proceso no funciona. Para implantar el coche eléctrico será necesaria una nueva red de suministro de gran dimensión y eso requerirá grandes inversiones. Sin embargo, los agentes económicos no tienen claro que las inversiones necesarias para la reconversión de las gasolineras en electrolinerías estén justificadas porque siendo el parque de vehículos eléctricos todavía escaso, las electrolinerías no tendrían suficientes clientes. El proceso también afecta, de rebote, a los compradores potenciales ya que si no hay suficientes electrolinerías hay un motivo más para ser reticentes. Este es el círculo vicioso que la Unión Europea quiso romper cuando en 2014 aprobó la Directiva 2014/94/UE para la implantación de infraestructuras para suministro de combustibles alternativos, donde ya se obligaba a que los países miembros a tomar las medidas necesarias. Pero las leyes no lo solucionan todo y lo cierto es al cabo de seis años ni en España, y al parecer tampoco en la mayoría de los otros países, se ha avanzado lo suficiente.

Para comprender algo más de la cuestión he elaborado una tabla de la autonomía y consumo real de varios coches que están en el mercado y que son representativos de la situación actual. Los datos oficiales de la batería y de la autonomía son los que figuran en los catálogos de las marcas y los datos reales de autonomía proceden de *Sprintmonitor*, una web alemana especializada en el análisis de consumos y de costes de todo tipo de vehículos.

Conocidas las autonomías oficiales y las reales, y dando por bueno el dato oficial de la capacidad de la batería, los demás datos de la tabla se obtienen de inmediato. Lo primero que resulta llamativo es que la autonomía real de todos los modelos es muy inferior a la oficial de catálogo. En general oscilan entre el 25% y el 40% menos, incluso suponiendo que la prueba y el catálogo se hayan hecho agotando la batería sin respetar el criterio de no utilizar más del 80% de la capacidad. Tengamos en cuenta que la batería no solamente sirve al motor, también al sistema eléctrico general, a los faros y sobre todo a la climatización (frio y calor). Por tanto, la autonomía operativa de los coches medios es, como mucho, del orden de los 200 km, y en consecuencia la utilidad del coche eléctrico queda relegada al uso en zonas urbanas que, por otra parte, es donde es más requerido y donde muestra sus mayores ventajas.

Modelo	Batería Kwh	Consumo oficial Kwh/100 Km.	Consumo real Kwh/100 Km.	Autonomía oficial Km.	Autonomía real Km.	% Consumo real/oficial	% Autonomía real/oficial
Mitsubishi i-MiEV	15	9,38	14,26	160	105	152%	66%
Smart ForFour	17,6	11,35	18,92	155	93	167%	60%
Wolkswagen up	18,7	11,69	12,85	160	145	110%	91%
KIA Soul	27	12,74	17,02	212	158	134%	75%
Hyundai IONIQ	28	10,00	13,59	280	205	136%	73%
BMW i3	33	11,00	15,06	300	180	137%	60%
Wolkswagen Golf	36	12,90	16,74	279	215	130%	77%
Nissan Leaf	40	10,58	16,32	378	230	154%	61%
Renault Zoe	41	10,25	16,40	400	250	160%	63%
Tesla Model X	75	17,99	23,08	417	315	128%	76%
Tesla Model X	100	17,70	23,08	565	405	130%	72%
Tesla Model S	75	15,31	20,66	490	350	135%	71%
Tesla Model S	100	15,82	20,66	632	450	131%	71%

Tabla 5. Autonomía y consumo de coches eléctricos. Elaboración propia.

Hemos visto cuestiones de espacio (distancia), ahora volvamos al tiempo. En la tabla 4 hay datos de tiempo de recarga, y si partimos de los consumos reales obtenidos en la tabla 5 podemos seguir sacando resultados. Para conseguir 200 km de autonomía con un coche que consuma alrededor de 16 kWh/100 km, necesitamos 32 kWh de recarga que precisan baterías de 40 kWh si se quiere seguir el criterio del 80% de utilidad. Utilizando un cargador de recarga rápida de 50 kW, necesitaríamos 0'64 horas, es decir casi 40 minutos o más teniendo en cuenta que los valores reales superan los valores teóricos. Algunas veces se habla de 30 minutos de recarga sin dar detalles, tal vez porque más tiempo resulta disuasorio para el usuario. Pero mientras los cargadores rápidos no aumenten la potencia, para reducir el tiempo hay que reducir la carga y eso implica repostajes más frecuentes y más tiempo muerto, no ya para recargar sino también para acceder a la electrolinera.

La cuestión del tiempo de recarga también cabe plantearla en sentido contrario. Podemos considerar que la recarga en una electrolinera con desplazamientos incluidos es una "pérdida de tiempo", pero para evitarlo podríamos "aprovechar el tiempo" de trabajo o de ocio para la recarga si tuviéramos disponible la infraestructura adecuada. Por tanto, de momento (y para siempre), a falta del desarrollo de la red de electrolineras, se podrían equipar puntos de recarga en los aparcamientos públicos de rotación, en los centros comerciales, en los hoteles, en los edificios de oficinas, en los campus universitarios, en restaurantes de carretera y en sitios similares en los que el coche está inmovilizado mientras el usuario se dedica a otros menesteres. Es lo que pretende el Real Decreto-Ley 15/2018 que liberalizó la gestión de los puntos de recarga. Con la nueva normativa aprobada cualquier consumidor puede instalarlos y podrá revender la energía eléctrica que suministre, algo que anteriormente no estaba permitido.

Análogamente, se ha hecho la reforma de la Ley de Propiedad Horizontal para facilitar al máximo la instalación de puntos de recarga en garajes comunitarios. Con la modificación aprobada, a los propietarios les asiste el derecho de instalar un punto de recarga privado en la parcela de un garaje

comunitario sin pedir autorización a la Comunidad de Propietarios, siempre que el coste de dicha instalación sea asumido íntegramente por el o los interesados directos de la misma.

El resultado ha sido inmediato, se denominan puntos de carga o SAVE (Sistema de Alimentación de Vehículo Eléctrico). La página web <https://www.electromaps.com/> proporciona información muy detallada de los puntos de carga públicos por provincias y por tipo de conexión. A fecha de mayo 2020 en España hay 5.839 puntos de recarga, muchos más de los esperables, teniendo en cuenta que el parque actual solamente es del orden de 30.000 vehículos eléctricos. Cuando se entra en detalles resulta que más del 80% son de la carga lenta o semirrápida. La mayoría son de uso particular en aparcamientos privados y otros muchos están ubicados en hoteles, restaurantes, concesionarios, talleres y similares, y son más un servicio al cliente o una medida de promoción que un servicio abierto al público general.



Figura 63. Punto de recarga en un aparcamiento privado. Imagen del autor.

No hay duda que la proliferación de los puntos de recarga en lugares públicos o privados con acceso más o menos restringido será una parte a considerar en plan de recarga. Actualmente ya lo es por cuanto la mayoría de los usuarios disponen de plaza de aparcamiento exclusiva con punto de recarga, en caso contrario, es muy difícil utilizar un coche eléctrico. Hasta ahora han sido el mejor soporte, pero no hay suficientes plazas de aparcamiento para todos. Se considera que más del 80% de los vehículos aparcan en las calles y volviendo al principio de la cuestión, la necesidad de una red de electrolineras es condición imprescindible para la implantación generalizada del vehículo eléctrico.

El INE (Instituto Nacional de Estadística) ofrece estadísticas decenales de la vivienda y concretamente del número de plazas de aparcamiento que hay en todo el territorio nacional desglosado por conceptos diversos y los datos corroboran la estimación anterior. A partir de esos datos se la elaborado la tabla que relaciona el número de plazas con el tipo de vivienda. La tercera y la cuarta columna ofrecen para la interpretación el valor acumulado en orden descendente y ascendente.

Cabe suponer que las plazas de aparcamiento pueden ser potencialmente punto de recarga, aunque la distribución por segmentos plantea dificultades para la interpretación y para el análisis. En efecto,

2.502.258, el 74% de las plazas de aparcamiento, corresponden presuntamente a viviendas individuales que normalmente están fuera de los núcleos de población que concentran la mayor parte de los coches y posiblemente se utilizan menos o simplemente están inactivas. Es más fiable el dato de 414.150 plazas de aparcamiento, el 12% del total, en emplazamiento de más de tres plazas que en principio son las que están ubicadas en núcleos urbanos y son las más propicias para utilizarse como punto de recarga.

Otro dato inmediato que también se puede obtener a partir de datos oficiales y del INE es la ratio de plazas de aparcamiento sobre total de coches, 24.558.126 según la DGT. El resultado es 13'73% coches/plaza. Presuntamente ambos datos de partida están sobrevalorados y el resultado no es muy significativo, pero obtenerlo es fácil e inmediato y la interpretación es libre.

Plazas aparcamiento en viviendas españolas INE 2011			
nº Plazas	Parcial	Acumulado ↓	Acumulado ↑
1	2.502.258	2.502.258	3.371.517
2	455.109	2.957.367	869.259
3 a 5	126.117	3.083.484	414.150
6 a 10	89.032	3.172.516	288.033
11 a 20	105.597	3.278.113	199.001
21 a 50	68.876	3.346.989	93.404
más de 50	24.528	3.371.517	24.528

Tabla 6. Distribución por tipologías de las plazas de aparcamiento. Elaboración propia a partir de datos del INE.

Según los datos de la Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos (AOP), a final de 2019 había en España 11.609 gasolineras convencionales que atienden a un parque de más de veinte millones de vehículos activos. No dan datos de cuantas de ellas ya ofrecen recarga eléctrica, pero sabemos que son pocas. Es importante señalar que, en la reconversión de las gasolineras en electrolineras, tienen incertidumbres graves en cuanto a la rentabilidad de las inversiones necesarias y en cuanto al ritmo adecuado para hacerlo. Pero además hay otro obstáculo con el tiempo de recarga que afecta al espacio, en este caso a la superficie del área de suministro. En una gasolinera el tiempo de repostaje de un coche convencional suele oscilar entre los 5 ó 10 minutos mientras una recarga eléctrica para tan solo 200 km puede tardar 40 minutos. Por tanto, en igualdad de condiciones, la superficie que actualmente ocupa un coche eléctrico para repostar es de 4 a 8 veces la de un vehículo convencional. Este es un aspecto que resulta disuasorio para la gran mayoría que no dispone de tal superficie.

Las conclusiones son evidentes, hasta que el avance de la tecnología no consiga aumentar la capacidad de las baterías y simultáneamente disminuir el tiempo de recarga, las electrolineras y el vehículo eléctrico tendrá un arduo camino para expandirse.

Los hay que son menos optimistas. Según las palabras de Nicolas Meilhan, analista de la consultora Frost & Sullivan: *“Si conduce un coche de gasolina, podrá repostar en cualquier lugar del mundo, un objetivo que no se conseguirá con los vehículos eléctricos”*.

7.3 Comparación del coste operativo del vehículo eléctrico frente al vehículo convencional.

Hay que entender el costo operativo como la suma de todos los costes necesarios para el funcionamiento. El enunciado parece sencillo y sin embargo la aplicación práctica no lo es tanto porque intervienen factores que pueden interpretarse de manera distinta según el criterio que se considere. Para el usuario convencional la comparación se puede hacer atendiendo a dos conceptos básicos: los costos fijos, fundamentalmente el coste de compra, y los costes variables de mantenimiento, principalmente el del combustible y otros más.

No es el objeto de este trabajo hacer un estudio de detalle sobre estas cuestiones, solamente se pretende señalar los aspectos más importantes que inciden en esta cuestión, y sin duda el más importante es que la política que cada estado aplica al sector vía impuestos y subvenciones determina la cuantía de ambos conceptos. La repercusión en la progresión del vehículo eléctrico es la consecuencia inmediata.

Cuando se observa la implantación del coche eléctrico a escala mundial las miradas se dirigen necesariamente a Noruega que es con diferencia el país en el que el coche eléctrico tiene mayor penetración y se adjunta una tabla (figura 64) que da fe de ello. Corresponde al primer semestre de 2019 y en primera aproximación las cifras anuales deberían ser el doble en cuanto a las matriculaciones, pero los porcentajes se supone que se mantienen.

El caso noruego es una anomalía estadística en relación con el resto de los países considerados que se puede explicar por varias causas: una de las mayores rentas per cápita del mundo, una elevada conciencia ecológica (caza de ballenas aparte) y una gran producción hidroeléctrica. También interviene una cuarta y es que, al no haber producción local, no hay industria nacional que proteger lo cual facilita la toma de decisiones. Con tales premisas el gobierno noruego discrimina positivamente al vehículo eléctrico eximiéndole del pago del IVA y simultáneamente aumenta los impuestos sobre el coche convencional a tal punto que invierte el orden de los precios de adquisición en favor del coche eléctrico que es más barato que un coche convencional. Algo similar sucede en el combustible, Noruega es un gran productor de petróleo que le aporta la mayor contribución al PIB y a pesar de ello, vía impuestos, tiene la gasolina más cara de las que en otros casos está condicionada por criterios locales.

El caso noruego es un ejemplo claro de cómo las políticas de los gobiernos condicionan la implantación del vehículo eléctrico. La situación en el resto de los países europeos es bien diferente y el resultado también. Por el momento los vehículos eléctricos son bastante más caros que los vehículos convencionales y por tanto si los gobiernos no intervienen con políticas de amplias subvenciones, pierden gran parte de su atractivo,

En cuanto a los costos variables el principal para el vehículo eléctrico es el kWh. Para valorarlo adecuadamente habrá que esclarecer la situación de las electrolineras y las tarifas que vayan aplicar cuando la red esté desarrollada porque las tarifas actuales disuasorias. Por ahora no lo está.

El parque actual, al ser tan reducido, mayoritariamente utiliza puntos de recarga privados con tarifas eléctricas ventajosas. El coste del kWh en este caso puede oscilar entre menos de diez céntimos (0,10 €) utilizando tarifa nocturna pura y menos de veinte céntimos (0,20 €) a poco que se gestione adecuadamente los horarios de recarga y las tarifas existentes.

En estas condiciones actuales un vehículo eléctrico con consumo medio de 16 kWh/100 km. aplicando un predio de 0,15 €/kWh tiene un coste de 2,40 €/100 km. La situación es muy favorable en relación con el consumo de un coche convencional equivalente que consuma de 6 a 8 l/100 km según sea tráfico urbano o mixto; a un precio orientativo de 1,20 €/l de combustible el coste por 100 km puede ser del orden de 7'20 a 10 €, es decir, de tres a cuatro veces más que el coche eléctrico que, en este aspecto, tendría una ventaja competitiva importante.

Sin embargo, el precio del kWh de venta en las escasas electrolineras de carga rápida en servicio es del orden de 0,50 € y a ese precio los 16 kWh ya valen 8 euros, es decir, similar al del coche convencional, con lo cual la ventaja por este concepto desaparece.

El margen de venta que aplican electrolineras respecto su precio de coste, parece anormalmente alto, mucho más que el aplican a la gasolina o al gasóleo. Probablemente ahora es el necesario para amortizar la inversión cuando el consumo es escaso. Es una cuestión de economía de escala y lo cierto es que a pesar de lo que se pueda creer, el número de electrolineras no crece.

Se ha visto lo mucho que queda por hacer tanto en lo referente al coche eléctrico y a sus baterías como en la red de electrolineras. Mientras uno y otra no avancen con claridad, el futuro de ambos es incierto.

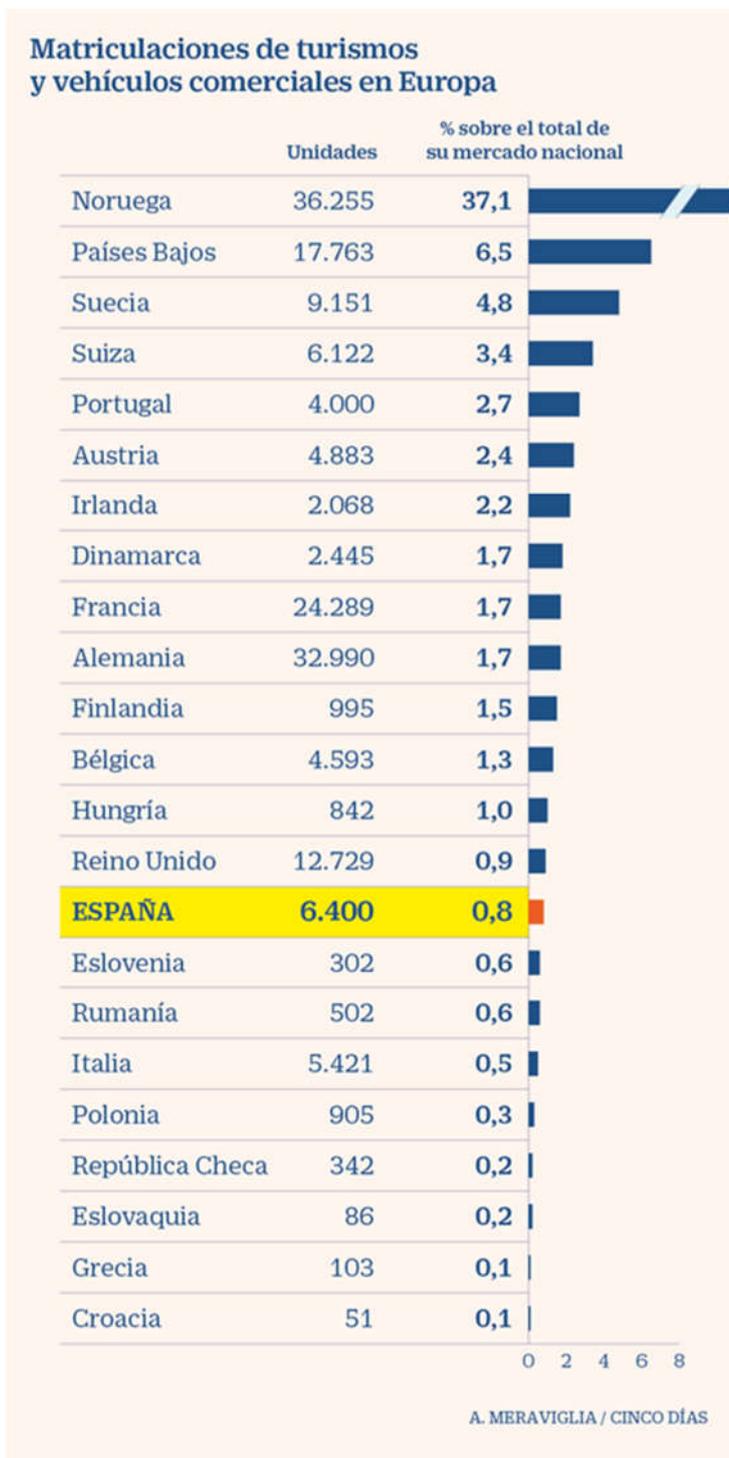


Figura 64. Matriculación de vehículos eléctricos del primer semestre de 2019 en los países europeos Fuente Jato a través de Cinco Días.

7.4 El costo de producción del vehículo eléctrico frente al convencional. Economías de escala.

La producción masiva de automóviles ya lleva más de un siglo y bien puede decirse que es la historia de un éxito. Desde el lanzamiento del modelo T de Ford en 1908 la estandarización y la producción en cadena le permitió reducir los precios de venta de una manera espectacular. El año de su lanzamiento, un Ford T costaba 825 dólares. Pero ocho años más tarde, en 1916, el precio había bajado a 360 dólares y bajó todavía más, a 250 dólares cuando en 1927 cesó la producción del modelo que ya estaba anticuado.

El proceso de avance tecnológico, simultáneamente con la reducción de precios, nunca se ha detenido y la eficiencia alcanzada ha conseguido que actualmente por apenas 10.000 € se fabriquen coches de aproximadamente 1.000 kg de peso que son capaces de recorrer 100 km a 120 km/hora con apenas seis litros de combustible. No hay muchos productos en el mercado que valgan 10 €/kg, y probablemente ninguno que por ese precio incorpore tecnologías tan avanzada.

Pero, aunque los coches eléctricos son más sencillos y los motores más baratos de producir, conseguir esa eficiencia en la producción tardará unos cuantos años. Hay dos cuestiones básicas que obstaculizan el objetivo, la primera es que las baterías recargables son caras e insuficientes, actualmente suponen aproximadamente un tercio del coste total, es excesivo y necesitarán tiempo para mejorar en precio y en prestaciones. La segunda, porque las producciones todavía son bajas y las economías de escala están lejos de producirse.

Entretanto, los coches eléctricos seguirán con un sobrepeso que alguien deberá pagar, bien sea el cliente, o las administraciones y las marcas. El cliente mayoritario es muy sensible al precio y las administraciones saben que las subvenciones son necesarias hasta que los fabricantes sean capaces de reducir los precios por nuevos avances tecnológicos y por economías de escala. Solamente entonces dejará de haber ayudas, pues las subvenciones no pueden seguir de manera indefinida.

El sector ha entendido que el proceso hacia el vehículo eléctrico es inexorable y los actores están tomando posiciones. Se adjunta la tabla elaborada por *JATO Dynamics Ltd.* con datos del primer semestre de 2019 que, a efectos de análisis, pueden extrapolarse a la anualidad completa.

Mercado de coches eléctricos en el primer semestre de 2019

Los 10 países del mundo con mayores ventas

	Unidades	% variación respecto al 1S 2018
China	430.700	+111%
EE UU	116.200	+87%
Noruega	36.300	+74%
Alemania	33.000	+72%
Francia	24.300	+38%
Países Bajos	17.800	+118%
Corea del Sur	17.700	+63%
Canadá	13.100	+37%
Reino Unido	12.700	+62%
Japón	11.000	-27%

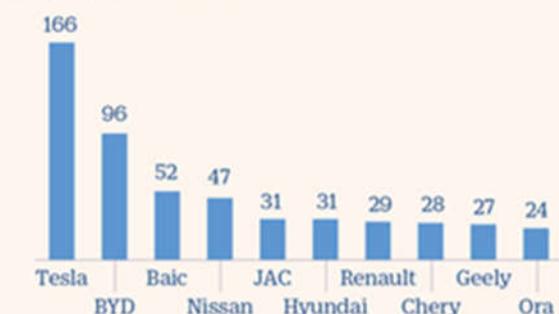
Ventas en el mundo

En miles de unidades



Los 10 mayores fabricantes

En miles de unidades



Fuente: Jato

Figura 65. El sector del automóvil eléctrico en 2019 Fuente Jato a través de Cinco Días.

De la tabla se deduce que China ha tomado la delantera de los vehículos eléctricos tanto en la producción como en la matriculación en su enorme mercado interno. Sobre un total mundial de 765.000 unidades, las matriculaciones chinas son el 56%, las europeas tomadas en conjunto fueron 119.100, prácticamente las mismas de E.E.U.U., y en ambos casos representan el 15% sobre el total. El 14% restante se reparte entre los demás países del mundo.

En cuanto a la fabricación lo más significativo es que de las diez empresas consideradas por nacionalidades solo hay una americana, Tesla, que es la más importante del mundo con más de la quinta parte de la producción; solamente hay una europea, Renault; y las ocho restantes, son asiáticas. De las asiáticas una es japonesa, Nissan; otra es coreana, Hyundai y las otras seis son chinas, prácticamente desconocidas para nosotros, pero en conjunto producen casi tanto como todas las demás juntas.

Aunque el crecimiento de la producción y de las ventas anuales es muy alto, a los vehículos eléctricos todavía les hace falta tiempo e inversiones para alcanzar las economías de escala necesarias. Han sido decisiones estratégicas a largo plazo que algunos han tomado con la visión puesta en el futuro y es evidente quiénes han apostado y quienes se mantienen al margen.

8. Repercusiones colaterales. Amenazas y oportunidades.

Es claro que el advenimiento del vehículo eléctrico no es el resultado de una mera evolución interna del sector del automóvil, sino que es una revolución inducida externamente por la presión medioambiental y por la normativa legal de algunos países. Se trata del mayor reto de la industria desde hace mucho tiempo y las empresas necesariamente tienen que responder implantando los cambios necesarios para afrontarlo. Son circunstancias extraordinarias e infrecuentes que, cuando se producen, pueden alterar el orden establecido, pues son una oportunidad para los emergentes que pugnan por avanzar y una amenaza para los que están afianzados que pretenden mantener en su posición.

8.1 Relocalización de las plantas de producción de vehículos.

La globalización tuvo como consecuencia que las mayores empresas resultantes de la concentración del sector distribuyeron la capacidad de producción por distintos países con arreglo a criterios que se han comentado anteriormente. El proceso se produjo masivamente a finales del siglo pasado y con algunos ajustes ha llegado hasta la actualidad. La motivación fue optimizar los costes de producción en las nuevas localizaciones con arreglo a unas circunstancias que actualmente están cambiando.

La producción de vehículos eléctricos en forma masiva requerirá que las cadenas de producción deban adaptarse para producir los nuevos modelos en dos cuestiones fundamentales.

La primera, es la sustitución del motor de combustión por el motor eléctrico con todas las consecuencias mecánicas asociadas en cuanto a la transmisión, caja de cambios, rediseño del chasis etc. Que requiere un 30% menos de piezas y, por tanto, de menos horas de trabajo.

La segunda, es la producción de las baterías, una novedad importante que hasta ahora no se producen en suficiente cantidad.

La consecuencia previsible es la reordenación del sector adaptada a la nueva situación, lo que implicará cierre de algunas plantas y la potenciación de otras existentes, también la apertura de otras nuevas. La distribución geográfica de las unas y de las otras va a ser una cuestión candente en los próximos tiempos.

Los gobiernos son conscientes de la importancia económica y para el empleo que tienen las plantas de producción para sus respectivos países y pugnarán con ayudas y subvenciones; por su parte las empresas necesitan acometer fuertes inversiones y no van a desaprovechar el poder que les confiere su capacidad de negociación.

España es el segundo fabricante europeo por número de vehículos producidos y es especialmente sensible a esa situación por cuanto todos los centros de decisión están fuera de nuestras fronteras. El riesgo de deslocalización existe y Alemania y Francia, que habían deslocalizado producción, la están recuperando para protegerse y además irán seleccionando para sus sedes las tecnologías más rentables.



Figura 66. Las baterías en el coche eléctrico Imagen procedente de motorpasion.

8.2 Nuevas plantas de fabricación de baterías.

A diferencia del caso anterior, no hay capacidad de producción preexistente que reconvertir y la futura demanda deberá suministrarse con plantas de nueva creación por cuanto las actuales serían manifiestamente insuficientes.

Por ahora la producción de baterías recargables está muy concentrada en Asia y fundamentalmente en China. Es lógico pues, según se ha visto, que son esos países los que en mayor medida han apostado por el coche eléctrico y también por los híbridos, enchufables o no. El suministro de baterías para esos vehículos ya tiene un mercado relativamente importante y además es campo de experiencia para el futuro.

Los grandes productores occidentales se están manteniendo relativamente al margen en una estrategia que puede ser discutible y que es de alto riesgo pero que en modo alguno es irracional. El experto en geoestrategia Pedro Baños en su libro *El dominio mundial* da algunas pautas para entender la cuestión.

Es evidente que en el campo de las baterías recargables la tecnología disponible actualmente es manifiestamente insuficiente en precio y en prestaciones. Para cubrir las necesidades de la producción masiva de millones de vehículos eléctricos se necesitará una nueva tecnología que todavía no está disponible. Un ejemplo claro es la utilización del cobalto en las baterías actuales. Si tenemos en cuenta que la batería de un teléfono móvil contiene entre cinco y diez gramos de cobalto y que una batería actual de gran capacidad puede necesitar hasta quince kg, es claro que en el futuro más o menos inmediato puede haber problemas de suministro si no se encuentra una tecnología alternativa que pueda prescindir de su uso.

Es lo que están haciendo Tesla, Samsung y muchos equipos de investigación en todo el mundo.

¿Es adecuado para los grandes grupos que no se han involucrado a fondo en el vehículo eléctrico adentrarse en una tecnología que tiene un futuro poco prometedor? ¿Podrán incorporarse directamente a la futura solución tecnológica sin haber pasado plenamente por el estadio anterior? Parece difícil suponerlo, pero tampoco es descartable.

Son cuestiones de gran trascendencia que, naturalmente, no se toman a la ligera pero que supone riesgos muy considerables en el acierto o en el error.

Pero como no todo se puede fiar a futuros resultados, en Europa y en E.E.U.U. se están construyendo nuevas plantas para fabricación de baterías pues también ha habido una lección clara que todos han aprendido y es que dejar en manos externas el suministro de un elemento tan importante como las baterías puede crear una dependencia peligrosa. En una época en la que la globalización está en retroceso o cuando menos estancada, el acortamiento y la fiabilidad de las cadenas de suministro es una prioridad que todos tienen presente.

Mientras tanto, analistas económicos hicieron y hacen predicciones de un futuro que se acerca pero que no siempre se confirma. El gráfico a continuación es de Bloomberg, uno de los analistas más reputados.

It's All About the Batteries

Batteries make up a third of the cost of an electric vehicle.
As battery costs continue to fall, demand for EVs will rise.

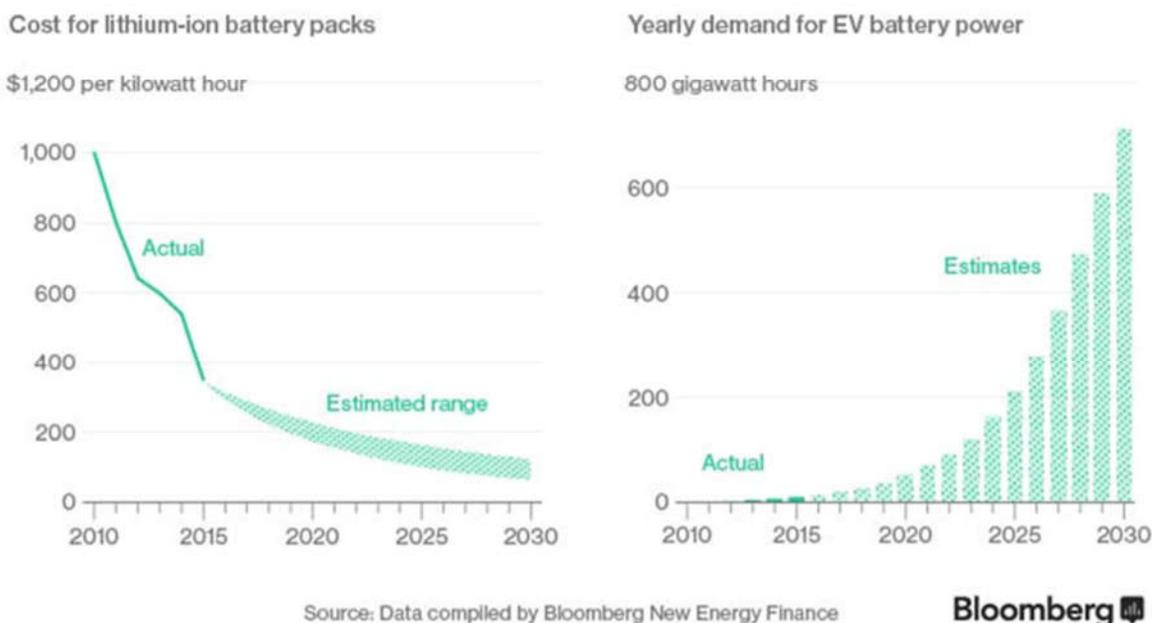


Figura 67. Bloomberg Coche eléctrico previsiones.

Las baterías representan un tercio del coste de un vehículo eléctrico. Como consecuencia del descenso de precio, la demanda crece. Según el gráfico actualmente, en 2020, una batería de 30 kWh vale aproximadamente 600 dólares (535€) y en 2030 se supone que valdrá la mitad. Es claro que lo que está sucediendo ahora y lo que sucederá en próximos años será decisivo.

8.3 Consumo actual de petróleo en el sector del transporte.

El sector del transporte es el mayor consumidor mundial de petróleo y también lo es en España. La dependencia del petróleo por parte del sector de la automoción en ambos ámbitos es prácticamente total y por tanto la pretensión de sustituir el motor de combustión por el motor eléctrico implica una revolución de gran alcance que solamente quedará confirmada por tiempo que tarde en implantarse y por el grado de cumplimiento que consiga.

Centrándonos en España, abundan las publicaciones con datos oficiales al respecto del Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico en su denominación actual. Una de sus agencias el IDAE (Instituto para la Diversificación y ahorro de Energía) ofrece estadísticas completas y detalladas con la evolución por años y por sectores. También los hay de otros organismos oficiales y de otros también públicos, pero sorprendentemente, las cifras en ocasiones no concuerdan.

Para elaborar este análisis se ha recurrido a la tabla 7, extraída del IDAE, la cual clasifica con detalle el consumo por sectores y a partir de esos datos se ha elaborado la tabla resumen que figura a continuación orientada al consumo de petróleo en el sector del transporte que convencionalmente se llama por carretera, aunque obviamente incluye el transporte urbano.

Productos petrolíferos evolución por sectores 2018								
		ktep	ktep	% TOTAL	% Transporte	% TOTAL	tep = 11.630/kwh	
Industria			2.977	6,72%			Kwh	Gwh
Transporte			35.071	79,14%			407.875.730	408
	Carretera	26.900			76,70%	60,70%	312.847.000	0
	Ferrocarril	81			0,23%	0,18%	942.030	1
	Marítimo interior	990			2,82%	2,23%	11.513.700	12
	Aéreo interior	2.250			6,42%	5,08%	26.167.500	26
	Aéreo internacional	4.773			13,61%	10,77%	55.509.990	56
	Otros varios	77			0,22%	0,17%	895.510	1
Usos diversos			6.267	14,14%				
	Agricultura	1.798						
	Pesca	289						
	Comercio y Servicios	1.350						
	Residencial	2.793						
	Otros varios	37						
TOTAL ktep			44.315	100,00%	100,00%	79,14%		

Tabla 7. Consumo de petróleo en el sector del Transporte. Elaboración propia con datos IDAE.

En todo a lo concerniente al petróleo y a la energía siempre hay que tener en cuenta la disparidad de las unidades de medida lo cual dificulta notablemente el cotejo de los datos. Es habitual que para las estadísticas de energía que incluyen las procedentes de fuentes diversa, la unidad de referencia sea la tonelada equivalente de petróleo (tep) en cualquier múltiplo que convenga y análogamente en el sector eléctrico la unidad es el kWh.

La importación de crudo se ha mantenido estable desde 2015. En 2019 fue 66,3 millones de toneladas de petróleo que equivalen aproximadamente a 500 (497 para ser concretos) millones de barriles a razón de 7,5 barriles/t. Eso es del orden del 1,4% de la producción mundial estimada en cerca de 100 millones de barriles diarios.

Según los datos de la tabla del IDAE (2018) el 60,7% del total estaría dedicados al transporte. Por tanto, según esos datos de origen, el orden de magnitud del consumo de petróleo para el transporte es de aproximadamente 35 millones de toneladas. Aunque los datos no corresponden al mismo año, como aproximación pueden valer.

No se pierda de vista que el objetivo principal que se pretende con la implantación del vehículo eléctrico es sustituir la mayor parte del total del petróleo dedicado al transporte y por tanto estos son los datos de partida. Se adjunta la predicción que ha hecho Bloomberg al respecto según tres escenarios previsibles. Se basan en el despegue de ventas que consiga el sector según crezcan el 60%, el 45% o el 30% anual.

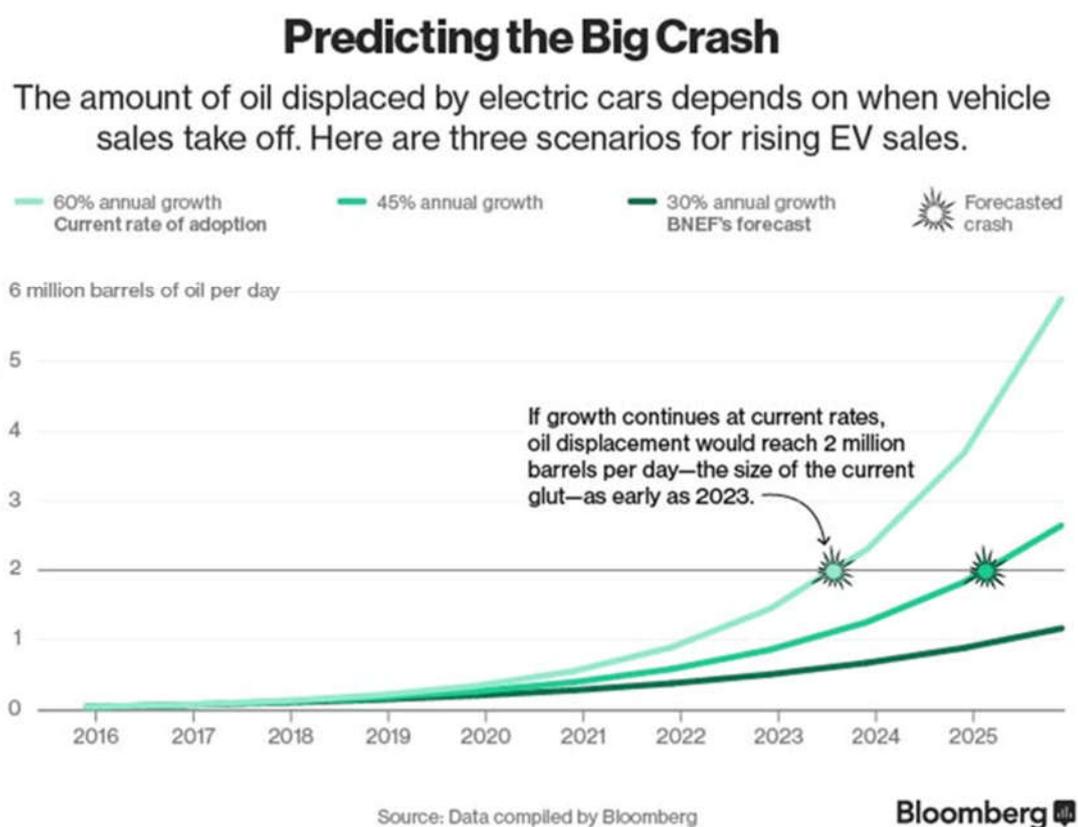


Figura 68. Previsión de la disminución del consumo del petróleo por el crecimiento del vehículo eléctrico. Imagen procedente de Bloomberg

Con esas hipótesis se puede alcanzar un ahorro de dos millones de barriles en las fechas previstas para cada una de ellas. Dos millones de barriles equivalen al 2% de la producción mundial, pero a partir de ese momento el crecimiento es acelerado.

Las consecuencias económicas y geopolíticas a medio plazo de la disminución de la demanda petrolífera serán de gran calado y de alcance imprevisible. Durante muchos años la amenaza del

agotamiento del petróleo era una posibilidad no descartable que entraba en muchos análisis prospectivos. Más visión tuvo el jeque Yamani, el saudí que fue el hombre fuerte de la OPEP en las grandes crisis de los años setenta. Preguntado al respecto respondió que al igual que la Edad de Piedra no acabó por falta de piedra, la edad del petróleo tampoco acabaría por falta de petróleo.

La consolidación de la fractura hidráulica (fracking) como método de extracción de gas y de petróleo ha tenido como consecuencia que ingentes reservas de hidrocarburos hayan pasado a ser recursos explotables a costes competitivos y ha privado a los grandes países productores de Oriente Medio de su capacidad de controlar los precios del mercado. Si al incremento de la oferta disponible le añadimos la poca firmeza de la demanda, previsiblemente entramos en una época de precios contenidos

8.4 Incremento previsible del consumo eléctrico. Centrales nucleares, centrales térmicas y energías renovables.

Naturalmente no tendría ningún sentido sustituir los vehículos de combustión que contaminan el aire de las ciudades sustituyéndolos por vehículos eléctricos si la producción de electricidad se consigue quemando combustibles fósiles. Solo se conseguiría trasladar la fuente de contaminación desde las ciudades a los lugares donde se produjese la electricidad necesaria. El resultado medioambiental no mejoraría. Por tanto, si se quiere ser consecuente hay un doble reto: mejorar la calidad del aire y simultáneamente mejorar la contaminación por GEI. La solución es obvia, la producción de energía ha de basarse en la utilización de energías renovables que sustituyan a los combustibles fósiles.

Para conocer la situación del caso español me he basado en los datos oficiales de 2018 del Ministerio de la Transición Ecológica y a partir de ellos he elaborado una tabla para el análisis.

Tecnología Datos 2018	Potencia instalada Mw	Energía Neta Producida Gwh	Horas funcionamiento	% Utilización	% Producción s/ Total
Nuclear	7.117	53.234	7.480	85%	20%
Eólica	23.405	50.896	2.175	25%	19%
Solar Fotovoltaica	4.764	7.799	1.637	19%	3%
Solar térmica	2.304	4.425	1.921	22%	2%
Combustibles	46.063	112.545	2.443	28%	42%
Hidráulica	20.080	36.170	1.801	21%	14%
Mareomotriz	5	0	0	0%	0%
TOTAL	103.738	265.069	2.555	29%	100%

Tabla 8. Clasificación de la producción de energía eléctrica según su origen. Elaboración propia a partir de datos del Ministerio para la Transición Ecológica.

Por claridad expositiva se sigue el criterio de clasificación de la Secretaria de Estado de la Energía de la Subdirección General de Energías Renovables y Estudios. En esta tabla los datos del ministerio desglosados por la aportación de las centrales de cogeneración, de las de carbón, de las de ciclo combinado

que queman gas y las que todavía quedan de modo residual que queman fuel se han agrupado en el concepto único de Combustibles que corresponde con las energías no renovables.

La tercera columna de la tabla se obtiene dividiendo la segunda columna con la energía producida por la primera columna con la energía instalada. Es decir, comparamos lo que se ha producido en un año con lo que se podría haber producido a tiempo completo. El resultado son las horas equivalentes de funcionamiento. Comparadas con las horas anuales es resultado es el grado de utilización que figura en la cuarta columna. El problema reside en que las centrales térmicas funcionan con inercia, pero hasta cierto punto se pueden regular según la necesidad del momento; eso es importante para la estabilidad del sistema eléctrico por cuanto las energías renovables dependen del viento de la lluvia y de las horas de insolación que varían con la secuencia del día y la noche y con el día largo en verano y corto en invierno. Salvo las centrales hidroeléctricas que dan repuesta instantánea a la demanda (basta con abrir la válvula de la turbina) el resto de las renovables no lo pueden hacer y por eso requiere que la potencia instalada sea muy alta para compensar la baja disponibilidad de las fuentes. La cuestión que se plantea es que la aportación de las energías no renovables es del 42% del total, la nuclear el 20%, y las renovables solamente representan el 38% de la producción actual del cual solamente el 5% procede de energía solar.



Figura 69. Logotipo antinuclear.

Este es uno de los iconos más conocidos mundialmente y tiene su versión traducido a la mayoría de los idiomas. Lo diseñó la danesa Anne Lund en 1975, para la campaña de la OOA (*Organisationen til Oplysning om Atomkraft/Organization for Information on Nuclear Power*). Desde el primer momento fue un éxito inmediato en cuanto a repercusión y un gran revulsivo en contra de la energía nuclear y a favor de la energía solar. Luego las expectativas generadas no se han cumplido. Casi medio siglo más tarde, la energía solar, en sus múltiples variantes, solo tiene un aporte cuantitativamente marginal y sigue

necesitado de subvenciones porque su costo de producción no es competitivo.

En la última previsión de plazos para la implantación del vehículo eléctrico el gobierno pretende que en 2050 no se permita circular a coches de motor de combustión. Por tanto, para esa fecha con independencia de la evolución que hayan tenido el resto de los sectores, el consumo eléctrico deberá aumentar para suplir el petróleo que por ahora consumen los motores de combustión.

Para la estimación de lo que representa la sustitución de los combustibles derivados del petróleo por kWh eléctricos partimos del dato de 2018 del IDAE. Según la tabla 7 el consumo de petróleo destinado a la automoción es de 26,9 millones de toneladas de petróleo.

Para calcular la equivalencia de las toneladas de petróleo que hay que remplazar por kWh hay que tener en cuenta que el rendimiento del motor de combustión sustituido es aproximadamente del 33%. Por tanto, la energía eléctrica medida en kWh que debe suplir a las toneladas equivalentes de petróleo de energía

primaria no consumida es únicamente del orden la tercera parte de su valor energético, pues ese es el orden de magnitud del rendimiento de los motores de combustión.

Con los datos actuales la equivalencia del consumo de combustibles derivados del petróleo sería:
26,9 millones tep → 11.630 kWh/tep → 312 GWh → 33% Rendimiento → 103 GWh

Comparada esa cifra con la producción eléctrica en 2019 que según datos de REE (Red Eléctrica de España) ha sido 261.020 Gwh, representa aproximadamente el 40% de la producción eléctrica actual. Por tanto, aunque no se cumpliera plenamente el objetivo y la sustitución solamente fuera parcial, el consumo adicional del vehículo eléctrico en el futuro. será un sumando importante a considerar. Para situar esa cifra, en el contexto, el consumo de la industria en el año 2015 era aproximadamente 86 Gwh, similar al residencial y al de servicios que son los tres sectores principales del consumo.

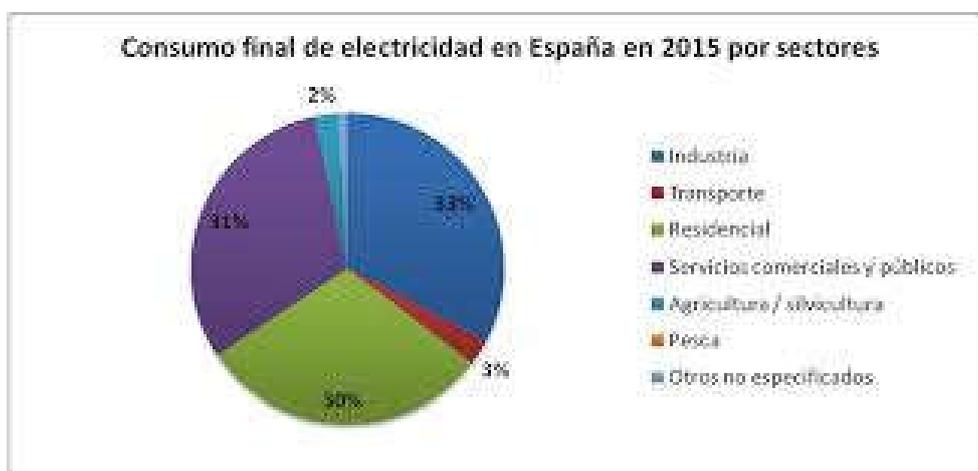


Figura 70. Estructura del consumo eléctrico en España. Imagen Trabajo fin de Grado. Agustín Delgado Tatay.

Obviamente estas estimaciones solo sirven como orden de magnitud, pero el tema merece alguna reflexión más allá de las respuestas genéricas sin previsión ni contenido. Sorprenden por tanto declaraciones como las del presidente de Iberdrola, José Ignacio Sánchez Galán, en rueda de prensa en Bruselas en febrero 2019 recogida por varios medios de comunicación. Afirma que el segmento de los coches eléctricos experimentará un “boom” en los próximos años que comparó el auge que está viviendo el sector de los vehículos eléctricos con el de los *smartphones* hace una década y aseguró que el suministro eléctrico no le faltaría. No hubo más precisiones ni aclaraciones al respecto.

Hay que entender que el sector eléctrico, al igual que el de la automoción, está en un gran proceso de sustitución hacia las energías renovables y probablemente las cuestiones del consumo del coche eléctrico no son la mayor preocupación, por lo menos a medio plazo sabiendo que el proceso se demora.

Evidentemente el aumento del consumo eléctrico para sustituir al petróleo consumido en el transporte será una parte de la cuestión. Pero es que, simultáneamente, el gobierno tiene previsto cerrar las centrales nucleares en 2030 y con ello la cuestión se complica todavía más, No es este el lugar ni el momento

de hacer un debate sobre la energía nuclear con sus ventajas e inconvenientes, pero de momento aporta un 20% de la energía total con la gran ventaja de su previsibilidad. El grado de utilización es del 85% puesto que nunca deja de funcionar salvo para recarga y mantenimiento programados y eso da una gran estabilidad al sistema que las renovables no pueden aportar.

Se habla mucho y se hacen cosas en las empresas de automoción, se oye menos y no se sabe muy bien cuánto se está haciendo en el suministro eléctrico. Oficialmente hasta 2040, coincidiendo en los plazos, la demanda habrá subido por el aumento del consumo eléctrico y la oferta bajará en la parte que corresponda al parón nuclear. Todo a la vez no cuadra o tal vez ni siquiera alguna de las dos por separado.

8.5 Repercusión de la pérdida de recaudación fiscal por el impuesto sobre hidrocarburos.

La implantación del vehículo eléctrico puede tener repercusiones importantes en la recaudación de impuestos del Estado. La política oficial respecto al sector está basada en el doble principio de auspiciar la implantación del vehículo eléctrico y simultáneamente restringir el uso de los combustibles derivados del petróleo.

Es una política fiscal acorde con los países de nuestro entorno europeo que grava los combustibles con impuestos muy elevados a diferencia de otros países y sobre todo a diferencia de los países productores que subvencionan el consumo incluso por debajo de los precios del mercado internacional muy transparente que es la referencia común para todos.

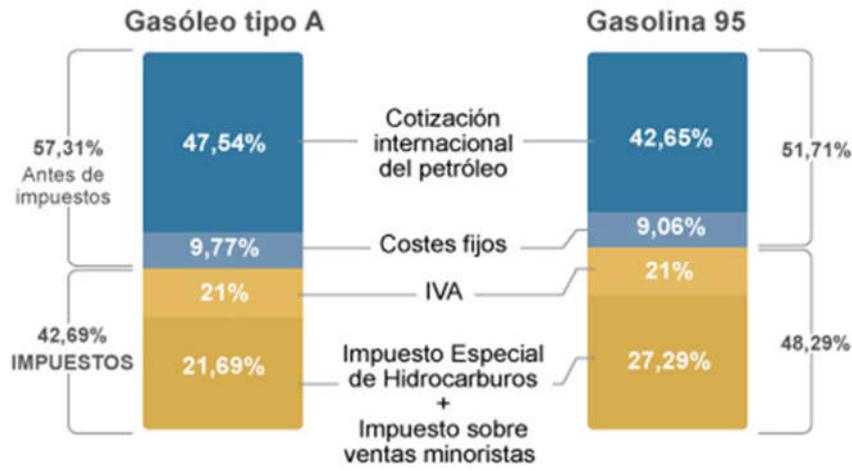
01-jun-20	Noruega	España	Alemania	Francia	E.E.U.U.	China	Arabia Saudí
€/litro Gasolina	1,41	1,10	1,23	1,27	0,55	0,75	0,20
€/litro Gasóleo	1,33	1,00	1,07	1,19	0,57	0,65	0,11
€/Kwh Doméstico	0,10	0,21	0,18	0,18	0,13	0,07	0,04

Tabla 9. Precios mundiales de la energía. Elaboración propia a partir de datos de globalpetrol.com.

La tabla anterior corresponde a una situación especial del mercado mundial del petróleo con los precios inusualmente bajos pero las posiciones relativas en nuestro entorno se mantienen estables.

También la energía eléctrica que utilizan los coches eléctricos está gravada con impuestos, pero en menor medida que los combustibles, solamente el 21% sobre el total, frente al 42,69 del gasóleo ó 48,29%de la gasolina. El 32% de incentivos no son impuestos sino subvenciones a otros sectores deficitarios de la producción que lo necesitan para producir. También hay que tener en cuenta que el consumo eléctrico es un tercio del equivalente en petróleo debido al mayor rendimiento de los motores eléctricos y en consecuencia de todo ello la recaudación fiscal será mucho menor,

El precio de los carburantes



*Costes fijos: Logística y comercialización, amortización y remuneraciones tanto de minoristas como de mayoristas.

Fuente: INEM

ELMUNDO.es

Figura 71. Estructura de coste de los combustibles en España. INE.

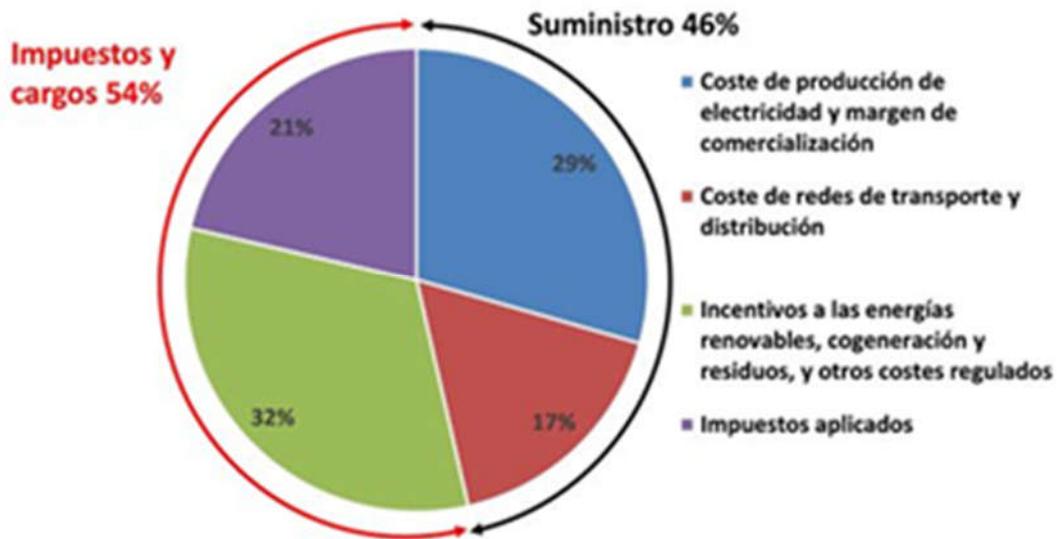


Figura 72. Estructura costes de la energía eléctrica Imagen procedente del blog de Miguel Puga.

Según datos de ANFAC (Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones) en 2017 el sector del automóvil contribuyó a la recaudación pública española con 28.138 millones de euros de cuales los impuestos relacionados con el consumo de carburante son 19.712.145 millones y suponen el 70% del total.

(En miles de euros/ In thousands of euros)	2015	% do 15/14	2016	% do 16/15	2017	% do 17/16
Por adquisición de vehículos/ New vehicles sales	3.790.428	21,4	4.363.401	15,1	4.809.017	10,2
IVA ⁽¹⁾ / VAT ⁽¹⁾	3.526.059	22,3	4.077.961	15,7	4.467.317	9,5
Impuesto Matriculación ⁽²⁾ / Registration Tax ⁽²⁾	264.369	10,7	285.440	8	341.700	19,7
Por consumo de carburante ⁽³⁾ / Fuel consumption ⁽³⁾	18.710.532	-2,5	18.757.750	0,3	19.712.145	5,1
IVA / VAT	6.330.471	-10,9	5.987.433	-5,4	6.618.654	10,5
IE/ Special Tax	12.380.061	2,4	12.770.317	3,2	13.093.490	2,5
Por impuesto de circulación/ Annual ownership taxes	2.636.796	-5,5	2.717.746	3,1	2.766.249	1,8
Por transferencias de vehículos usados/ Second hand vehicles transferences	368.548	17,3	417.745	13,3	470.410	12,6
Impuesto Transmisiones Patrimoniales/ Property Transfer Tax	221.999	12,5	254.264	14,5	285.334	12,2
IVA / VAT	105.714	13,5	121.122	14,6	136.558	12,7
Impuesto Matriculación ⁽⁴⁾ / Registration Tax ⁽⁴⁾	40.834	15,8	42.358	3,7	48.518	14,5
Por tasa de matriculación/ Registration charge	116.322	43,5	129.076	11	141.544	9,7
Por permiso de circulación/ Driving license fees	64.385	14,4	64.360	0	57.549	-10,6
Por tasa de cambio de titularidad/Transfer charge	151.419	5	164.043	8,3	181.410	10,6
TOTAL	25.838.429	0,5	26.614.122	3	28.138.323	5,7

Tabla 10. Evolución de los Ingresos fiscales 2015 a 2017. Fuente Anfac.

La aportación de estos datos tiene que ver con las políticas fiscales de España y de otros países por comparación con las de Noruega, que es el país europeo y del mundo que está más avanzado en la implantación del vehículo eléctrico.

La política fiscal noruega penaliza el consumo de combustibles derivados del petróleo a pesar de su posición favorable como país productor. La carga fiscal aplicada hace que Noruega tiene los precios del combustible más caros del mundo y simultáneamente precios de la energía eléctrica de los más bajos aprovechando su gran producción hidroeléctrica. Además, distorsiona el mercado del automóvil gravando los coches convencionales y subvencionado los eléctricos eximiéndoles del pago del IVA de forma que el consumidor paga menos por el coche eléctrico que por uno convencional. No es de extrañar que la política fiscal aplicada tenga como resultado que Noruega sea el país del mundo con mayor proporción de vehículo eléctricos.

¿Es posible aplicar políticas similares en otros países? No todos tienen la fortaleza de las cuentas públicas noruegas y por el momento ninguno lo está haciendo pues es difícil renunciar a ingresos tan cuantiosos y además transitar por la vía de subvenciones. Lo cierto es que mientras el precio que pague el consumidor sea mayor que el de coche convencional, el coche eléctrico tendrá un obstáculo importante para expandirse.

9. Nuevas tendencias sociales.

Las sociedades humanas tienen su propia dinámica, que son la resultante de las influencias que afectan a su devenir. Por lo general son procesos lentos de gran inercia que acaba repercutiendo en el del comportamiento social. A continuación, se comentan algunos de ellos.

9.1 Concentración de la población mundial en áreas urbanas. Consecuencias.

El proceso de urbanización de la humanidad es relativamente reciente en términos históricos y se acelera a partir de la revolución industrial del s. XIX. Hasta esa época la población mundial habitaba mayoritariamente en el medio rural o en poblaciones pequeñas y por tanto las cuestiones de movilidad interna no tenían relevancia. El sistema productivo, en gran medida, estuvo basado en el autoconsumo, por cuanto el transporte de personas y mercancías entre el medio rural y el medio urbano estaba muy limitado por la falta de capacidad de los medios existentes. Es esas circunstancias en general no eran viables las ciudades de gran población que requerirían un flujo externo de suministros de todo tipo que no siempre estaba disponible en condiciones prácticas ni económicamente asumibles. Tampoco los desplazamientos eran fáciles ni habituales para las personas. Se han hecho estudios que dicen que en España gran parte de sus habitantes, incluso a principios del s.XX, nunca en su vida se habían desplazado más allá del entorno de la provincia o similar y la gran mayoría de los habitantes del interior jamás en su vida vieron el mar. Solamente el servicio militar obligatorio para los varones atenuaba transitoriamente esa situación.

La revolución industrial consolidada en los países avanzados a partir de la segunda mitad del s.XIX cambió sustancialmente esa situación. La máquina de vapor primero, el desarrollo posterior de la electricidad, la expansión de la red de ferrocarriles, así como el enorme progreso tecnológico que se produjo en todos los campos, creó las condiciones necesarias para el desarrollo imparable de las ciudades tanto en población como en extensión. Coincidiendo con el apogeo del Imperio británico, Londres alcanzó el millón de habitantes y se convirtió en la ciudad más poblada del mundo hasta que en 1925 fue superada por Nueva York. En 1939, antes de la segunda guerra mundial, el censo oficial de Londres había crecido hasta de 8.615.245 habitantes.

Actualmente la población mundial que a principios del s.XIX se estimaba en mil millones de habitantes, ha rebasado los ocho mil millones y el aumento sigue sin pausa. Puede ser discutible cómo se establece el criterio para clasificar lo que es población rural o población urbana, pero en cualquier caso se estima que por primera vez en la historia de la humanidad la población urbana supera a la población rural y este proceso continúa imparable porque la ciudad ofrece más y mejores oportunidades que el medio rural. Lo novedoso de este proceso es que se produce mayoritariamente en países en vías de desarrollo de África y de Asia, que carecen de los medios económicos y estructuras sociales adecuadas para encauzar un crecimiento sostenible. Según fuentes de las Naciones Unidas en un informe de 2015 sobre la clasificación de las mayores aglomeraciones urbanas del mundo, las dos mayores urbes europeas son Londres en el puesto 23 y París en el puesto 28 de esa clasificación y el avance de esos otros países se puso de manifiesto.

Se prevé que para 2050 el área metropolitana mayor del mundo será Delhi con cincuenta millones de habitantes y otras varias de países en desarrollo rebasaran los treinta millones. Hay indicios de que, en 20 años, más de dos mil millones de personas migrarán a las ciudades y que de 33 megaciudades con más de 10 millones de habitantes, pasaremos a 43, la mayoría en países en desarrollo.

Los problemas de gestión de algunas de estas megápolis de 25 y 30 millones de habitantes son pavorosos. Pensemos en lo que supone para los servicios públicos de abastecimiento y saneamiento de aguas residuales, el hacinamiento de la población u otros muchos aspectos relacionado con la logística y con el tamaño. El tráfico urbano de esas ciudades está perpetuamente en estado de caos por cuanto las redes viarias son manifiestamente insuficientes para canalizarlo y, en general, no existe un transporte público eficiente que pudiera ser parte de la solución. Incluso en algunos casos se considera una causa perdida y ciertos países se plantean construir nuevas capitales administrativas de nueva traza a la manera como se hizo en Brasilia, pero las inversiones necesarias son tan descomunales que lo hacen inviable y también es dudoso que no se repitieran los errores cometidos.

9.2 Cambios en el modelo urbanístico. Las urbanizaciones periféricas y *el american way of life*.

En E.E.U.U., con una industria automovilista muy potente, se tenía su propia versión de esta cuestión y preconizaba el *american way of life* con uso masivo del coche particular asociado a una concepción de libertad individual muy vinculada a su idiosincrasia.



Figura 73. Familia feliz en versión americana. Cartel publicitario años cuarenta.

Este planteamiento llegó al límite en los años cincuenta, recién acabada la II Guerra Mundial e iniciada la Guerra Fría. En un mundo devastado por las consecuencias de la guerra las películas americanas con suntuosas viviendas unifamiliares en la periferia de las ciudades con garaje y jardín incluido, causaban

sensación en este lado del Atlántico. Como dice el lema del cartel publicitario que podemos ver en la figura 71, “No hay nada como el modo de vida americano”.

Este sistema de vida suponía largos desplazamientos para cualquier actividad que se desarrollara en centro urbano y como consecuencia también se necesitaron más vías de comunicación, que a su vez creaban nuevos emplazamientos para la población cada vez más distantes. Es un proceso que se retroalimenta.

El sistema entró en crisis con la primera crisis del petróleo en 1973 cuando el aumento de precio de los combustibles supuso un golpe fuerte a esa concepción tan arraigada. Se replantearon las concepciones urbanísticas de cómo debían planificarse las ciudades y los transportes públicos volvieron a entrar en consideración. Los coches evolucionaron en paralelo con esas circunstancias.



Figura 74. Coches americanos de los años cincuenta.

Viendo estas fotos de los coches americanos de esa época hay que decir que nunca en la historia del automóvil los hubo más espectaculares y en contraposición también podría añadirse que nunca como ahora los coches fueron tan prácticos para el uso, pero tan anodinos en el diseño.

Coches como estos siguieron circulando en Cuba después de la revolución castrista de 1959 debido al bloqueo que impedía la reposición y aun ahora con las modificaciones lógicas, queda alguno como recuerdo de otra época y como reclamo para turistas nostálgicos.

9.3 La movilidad en las ciudades.

El panorama en los países y en las ciudades de nuestro entorno europeo las cosas suceden de manera diferente y en las cuestiones de movilidad los resultados y las expectativas son más favorables. La cuestión se plantea con criterios nuevos y los resultados son razonablemente positivos. Las ciudades de

estos países parten de situaciones diferentes y con condicionamientos socioeconómicos y culturales diversos, pero hay un consenso general en priorizar el transporte público en detrimento del transporte privado.

Para llegar a esta conclusión se ha recorrido todo un proceso que comenzó con la incorporación masiva del automóvil sobre todo a partir de la segunda guerra mundial. Los índices de motorización crecieron con rapidez y pronto resultó que las ciudades eran incapaces de gestionar el tráfico que se generaba en ciudades cuya trama urbana no estaba hecha para ello.

Había que aportar nuevas ideas que mejoraran esa situación. La más inmediata y más fácil de aplicar fue la reordenación del tráfico racionalizando el uso de las vías existentes, estableciendo itinerarios preferentes de direcciones únicas con regulación por semáforos y rotondas y actuaciones similares. Sus resultados inmediatos son positivos, pero pronto son insuficientes. La otra línea de actuación es construir infraestructuras nuevas que aumenten la capacidad de tráfico de las ciudades tales como anillos de circunvalación, pasos a distinto nivel y en algunos casos también reformas puntuales de la trama urbana, cosa cara y siempre conflictiva. Cualquiera de estas opciones requiere inversiones muy considerables con una relación coste/beneficio que debería mantenerse en el rango de la racionalidad. Por tanto, aparecen límites que resultan ineludibles y que no deben traspasarse.

La combinación de la ordenación del tráfico urbano y el aumento de las infraestructuras tiene una repercusión directa y positiva para el objetivo que se pretendía porque aumenta la capacidad de tráfico del sistema. Sin embargo, pronto se comprueba que esa no es la solución deseable porque el aumento de la oferta conlleva el aumento de la demanda y si siguiéramos en esa dinámica acabaríamos en un callejón sin salida. Por tanto, es evidente que a partir de un cierto estadio de desarrollo de las infraestructuras ya no se debe seguir indiscriminadamente y que por consiguiente hay que actuar de otro modo. Aquí entran en consideración las políticas urbanísticas y de ordenación del territorio e incluso otras de más calado acordes con las circunstancias particulares de cada caso, pero siempre hay que partir de la premisa de que el tráfico hay que condicionarlo a límites sostenibles y que la respuesta más eficiente acaba siendo el transporte público.



Figura 75. Autobuses en Londres en la década de los treinta.

Aparece el concepto de movilidad urbana y de la congestión del tráfico. En las ciudades, sobre todo en las más grandes, no solamente hay un problema de contaminación atmosférica que se podría solucionar con el vehículo eléctrico; hay además un problema de utilidad del vehículo privado. Un buen indicador es la medición de la congestión de tráfico como cociente entre el tiempo real respecto al tiempo teórico de un desplazamiento. En la teoría de tráfico se clasifica el nivel “A” como aquel en el cual los únicos condicionantes de la velocidad son la vía y el vehículo. En los niveles sucesivos hasta el “E” final, va aumentando la interferencia del tráfico hasta llegar al colapso. Estudios de la congestión del tráfico realizados en varias de las mayores ciudades españolas dan resultados muy dispares, pero por encima del 150% y en ocasiones hasta casi el 300%.

El Ayuntamiento de Madrid publica en su página web una serie estadística exhaustiva sobre el tráfico en la ciudad desde 2005 a la actualidad detallado por zonas e itinerarios. La serie correspondiente a la velocidad del interior del primer cinturón en 2016 da una media de 13,26 km/h. Los valores del resto de la trama urbana dentro del segundo cinturón son algo mayores, pero no alcanzan los 25 km/h de promedio. La utilidad del vehículo privado para desplazarse en la ciudad queda en entredicho.

Ayuntamiento de Madrid										
Velocidad media en el conjunto de 20 recorridos fijos en 2016										
Km/h	Conjunto	Interior 1er cinturón	En el 1er cinturón	Entre 1er y 2º cinturón	En el 2er cinturón	Entre 2º cinturón y M-30	M-30	Entre M-30 y M-40	M-40	Exterior a M-40
Promedio	24,89	13,26	18,69	19,47	23,31	24,64	62,77	24,67	70,90	28,47

Tabla 11. Velocidad del Tráfico en Madrid. Elaboración propia a partir de estadísticas municipales.

Simultáneamente se ha consolidado una nueva visión de la ciudad como espacio de relación que prioriza al peatón frente al vehículo privado y la sociedad lo ha entendido así. Esto es justo lo contrario de lo que sucedió en otras épocas anteriores cuando se intentaba, sin resultado, favorecer la fluidez del tráfico a costa de reducir el espacio público. Actualmente avanza la peatonalización de los centros urbanos y cada vez hay más zonas en más ciudades que tienen el acceso restringido al transporte público, se amplían las aceras, proliferan los carriles bus de uso público exclusivo y se remodelan las tramas urbanas ganando espacio para el peatón en detrimento del vehículo privado tanto para circular como para aparcar. Las resistencias iniciales que siempre hubo se han atenuado y el nuevo modelo ya se acepta mayoritariamente como una nueva realidad.

9.4 ¿Siempre tiene sentido la propiedad del vehículo en exclusiva? Nuevas formas de uso compartido.

Los fenómenos de la evolución social son muy complejos y actúan en muchos campos diferentes y aunque estén interrelacionados, cada uno sigue su propia dinámica. La congestión de las ciudades, las limitaciones al tráfico y el cambio de la visión con el que los individuos perciben la realidad, alteran situaciones que estaban muy arraigadas pero que en algún modo están cambiando y previsiblemente van a cambiar más.

La principal aportación del automóvil a la sociedad moderna ha sido la libertad individual de movimientos. No solamente se trata de poder ir puerta a puerta a cualquier lugar, sino que además se puede elegir el momento en que se desee y con quien se desee. Estas tres características determinan la diferencia entre el coche particular y el transporte colectivo sea público o privado.

Cabe preguntarse cuál es actualmente el grado de cumplimiento de esas condiciones cuando las restricciones de la circulación en las grandes ciudades cada vez están más generalizadas, las zonas peatonales crecen y las zonas de aparcamientos público disminuyen. La respuesta es que cada vez la posesión del vehículo es más incómoda, más onerosa y menos útil.

En paralelo se está produciendo un cambio de mentalidad en la forma de consumir de los ciudadanos que preconiza el uso sobre la propiedad, bien sea por convencimiento o por pura necesidad muy relacionada con la precariedad laboral que sufre buena parte de nuestra sociedad.

Ha habido un proceso progresivo que nos ha llevado hasta la situación actual. En el mundo del automóvil la financiación de la compra con pago a plazos tradicional se complementó con sistemas cada vez más elaborados, primero con el *leasing* y luego con el *renting*. En esa sucesión de opciones se va diluyendo el concepto de propiedad e implícitamente se acentúa el uso por alquiler, aunque en todos ellos siempre hay compromiso temporal. El siguiente paso ya se ha dado, es el *carsharing*, literalmente “auto compartido”. Conceptualmente no es nada nuevo, pues son de sobra conocidas las empresas de alquiler sin conductor, pero no solo se trata de que la idea sea buena, sino sobre todo de que la comercialización sea exitosa. Al fin y al cabo, por ejemplo, Amazon no hace nada nuevo pues la venta por catálogo ya existía, el éxito que ha alcanzado ha sido por la aplicación de la idea que trasciende a la idea misma.

El usuario del *carsharing* ha de registrarse en la empresa de que se trate y pagar una cuota periódica por pertenencia. Es un costo fijo no disuasorio, el coste variable resulta del tiempo y de la distancia recorrida. Una aplicación específica proporciona en tiempo real el tipo de vehículo disponible en la ubicación más favorable para el usuario, tanto para la recogida como para la entrega. Finalmente, los medios de pago electrónicos completan el servicio con facilidad y seguridad para todas las partes implicadas.

El *carsharing* es una modalidad que se está extendiendo en las grandes ciudades de todo el mundo con grandes empresas especializadas en este negocio. El éxito lo basan en un servicio óptimo de disponibilidad temporal y de facilidad de entrega y recogida en aparcamientos distribuidos por toda la ciudad, además, se aduce el ahorro que consiguen para el usuario.

Ya está constituida la Asociación Española de Carsharing (AEC) y ha calculado que, para un recorrido de 7.000 km anuales, el coste de un coche en propiedad puede ser del orden de 5.200 € considerando los gastos fijos (impuesto circulación, seguro, aparcamiento etc.), los de consumo y la amortización mientras que para el coche compartido según sus cuentas serían aproximadamente 2.900 €. Probablemente son valoraciones interesadas que cada cual puede hacer a su medida y circunstancias, pero si la oferta es consistente y la calidad del servicio es buena, la cuestión tiene argumentos interesantes.

Lo novedoso que aportan estos sistemas es que los usuarios ya no vinculan la propiedad con el uso y cada vez veremos muchos más productos convertirse en servicios. Ya no será necesario tener un coche en propiedad para desplazarse que solamente se utiliza esporádicamente pues cabe la posibilidad de alquilarlo en el momento que se requiera y adaptado al uso que se le vaya a dar.

La consecuencia es que aumenta la utilización del vehículo y se calcula que por cada coche que se pone en servicio de alquiler sustituye a otros cuatro que dejan de circular.

Por ahora este es un fenómeno incipiente pero todavía sin repercusión cuantitativa. Lo más importante es que responde a un nuevo planteamiento del coche como elemento de consumo masivo y surge una nueva visión que puede consolidarse.

Las consecuencias previsibles ya inquietan a algunos, ya hay estudios que afirman que el pico de la producción de vehículos a escala mundial está cercano a producirse y aportan el dato de los últimos datos anuales que están estancados e incluso en pequeño retroceso sin sobrepasar la barrera mítica de los cien millones. Con la población mundial en crecimiento imparable, es probable que los países en vías de desarrollo y con bajo índice de motorización aumenten la demanda global. Lo que también parece probable es que en los países desarrollados y concretamente en Europa el pico ya se haya alcanzado y que la relación con el coche vaya a ser distinta.

10. ¿Se cumplirán las previsiones?

Hay planes, hay plazos, hay leyes y hay expectativas y muchas más cosas al respecto. También hay muchas dudas y grandes incertidumbres. Por tanto, es pertinente preguntarse qué va a pasar con todo esto y para vislumbrar el futuro es bueno comenzar reflexionando sobre el presente del que partimos.

10.1 Producción mundial de vehículos eléctricos. Presente y futuro.

Los datos disponibles no siempre son homogéneos ni siempre son concordantes, discrepan entre sí según sea la fuente a que se recurra. La precisión de datos que varían según la coyuntura, tampoco es lo más importante cuando lo que se pretende es escrutar las tendencias del futuro. Es más primordial acertar con el análisis cualitativo que centrarse en los aspectos cuantitativos.

La consultora especialista en mercados de automoción *LMC Automotive* ha publicado las cifras de ventas mundiales de 2019 en los diferentes mercados automotrices. Los datos y algunos gráficos que siguen a continuación provienen de esa fuente.

Se constata que el mercado está en caída global desde 94,416 millones de unidades en 2018 a 90,266 millones en 2019. Son 4,150 millones menos y el retroceso representa el 4,40% en un año en línea con la tendencia de años anteriores y la cifra mítica de los cien millones de ventas anuales se aleja por el momento. Son datos conjuntos que no distinguen entre los vehículos de combustión y los vehículos eléctricos (totalmente eléctricos e híbridos enchufables).

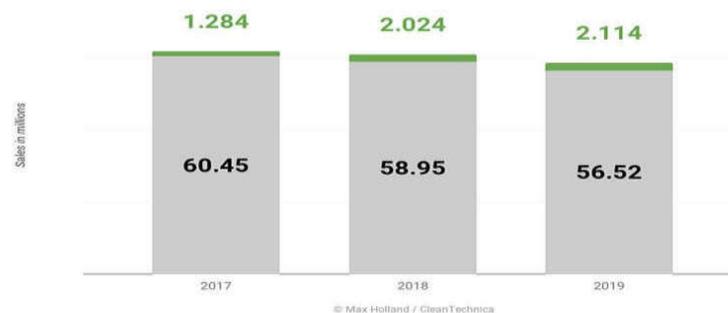


Tabla 12. Ventas conjuntas E.E.U.U, Europa y China. Fuente Clean Technica.

Estos gráficos están a escala y queda en evidencia la escasa participación de los vehículos eléctricos en el mercado global. Incluso cuando ya están en vigor las medidas restrictivas y las medidas de promoción.

Los gráficos que siguen a continuación ofrecen los datos diferenciados por regiones de los tres mercados más importantes: China, Europa y EE. UU, que, en conjunto, representan dos tercios de las ventas mundiales de automóviles y que además son los más dinámicos del sector.

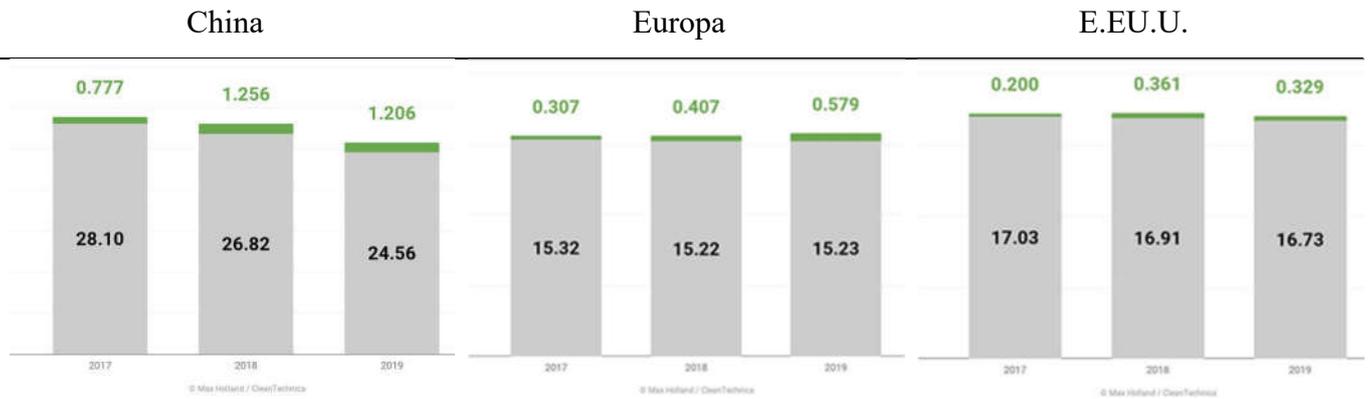


Tabla 13. Evolución de las ventas anuales en China, Europa y E.E.U.U. Datos extraídos de Cleantechnica.com. Elaboración propia.

En estos tres mercados también han sufrido un descenso conjunto (combustión y eléctricos e híbridos) del 3,56% en línea con lo que sucede en el mercado mundial (4,40%) aunque algo menor.

Los datos dejan claro que actualmente China ya es con diferencia el mayor mercado mundial del automóvil. Su numerosa población y su pujante economía augura el mantenimiento de esta situación en el futuro.

Vehículos totales	2017			2018			2019		
	Eléctricos	Combustión	Suma	Eléctricos	Combustión	Suma	Eléctricos	Combustión	Suma
CHINA	777	28.100	28.877	1.256	26.820	28.076	1.206	24.560	25.766
EUROPA	307	15.320	15.627	407	15.220	15.627	579	15.230	15.809
E.E.U.U.	200	17.030	17.230	361	16.910	17.271	329	16.730	17.059
Suma	1.284	60.450	61.734	2.024	58.950	60.974	2.114	56.520	58.634

Tabla 14. Evolución ventas totales por zonas geográficas. Elaboración propia.

La posición de Europa y E.E.UU. tienen un peso numéricamente similar y entre ambas equivalen a poco más del mercado chino y si además del número de vehículos se tuviera en cuenta el valor de mercado, cambiarían en detrimento chino cuyos productos son de menor valor unitario. Lo que resulta evidente es que en las tres áreas más importantes de que representan aproximadamente dos tercios de las ventas mundiales, el declive de del sector es evidente en los tres años últimos.

Vehículos eléctricos	2017		2018		2019	
	Eléctricos	% s/total	Eléctricos	% s/total	Eléctricos	% s/total
CHINA	777	2,69%	1.256	2,13%	1.206	4,68%
EUROPA	307	1,96%	407	0,69%	579	3,66%
E.E.U.U.	200	1,16%	361	0,61%	329	1,93%
Suma	1.284	2,08%	2.024	3,43%	2.114	3,61%

Tabla 15. Evolución de las ventas de vehículos eléctricos por zonas geográficas. Elaboración propia.

La tabla 14 muestra que en estos tres mercados la venta de vehículos eléctricos sigue un proceso ascendente con altibajos parciales que es insuficiente para compensar la bajada en las ventas de los vehículos de combustión. En cuanto a los porcentajes sobre el total hay que tener en cuenta que incluyen a los híbridos enchufables, pero aun así no progresan lo necesario para entrar en una fase de despegue. Que en estos tres mercados tan relevantes el porcentaje haya pasado en tres años del 2,08% al 3,61% da cuenta de un cierto estancamiento.

Al igual como se han obtenido los datos del presente y del pasado inmediato recurriendo a una fuente especializada, para conocer las expectativas de futuro, se recurre a otro analista prestigioso, en este caso *Bloomberg New Energy Finance* (BNEF) que es de donde provienen algunos gráficos y datos asociados.

Los datos que se han tomado son de la parte concerniente al proceso de implantación del vehículo eléctrico dentro de un estudio más amplio anterior a 2016. Es importante tenerlo presente, pues ya se puede hacer algún seguimiento de las previsiones de entonces que ahora ya son hechos ciertos. Evidentemente, las previsiones nunca se van a cumplir punto por punto, pero es bueno comprobar si se van cumpliendo si no en detalle, al menos en las grandes líneas.

Detalle de la previsión de los vehículos eléctricos vendidos y el porcentaje de nuevas ventas: térmicos combustión interna más híbridos (ICE+HEV), eléctricos (BEV), híbridos enchufables (PHEV) y porcentaje de nuevas ventas de eléctricos (EV).

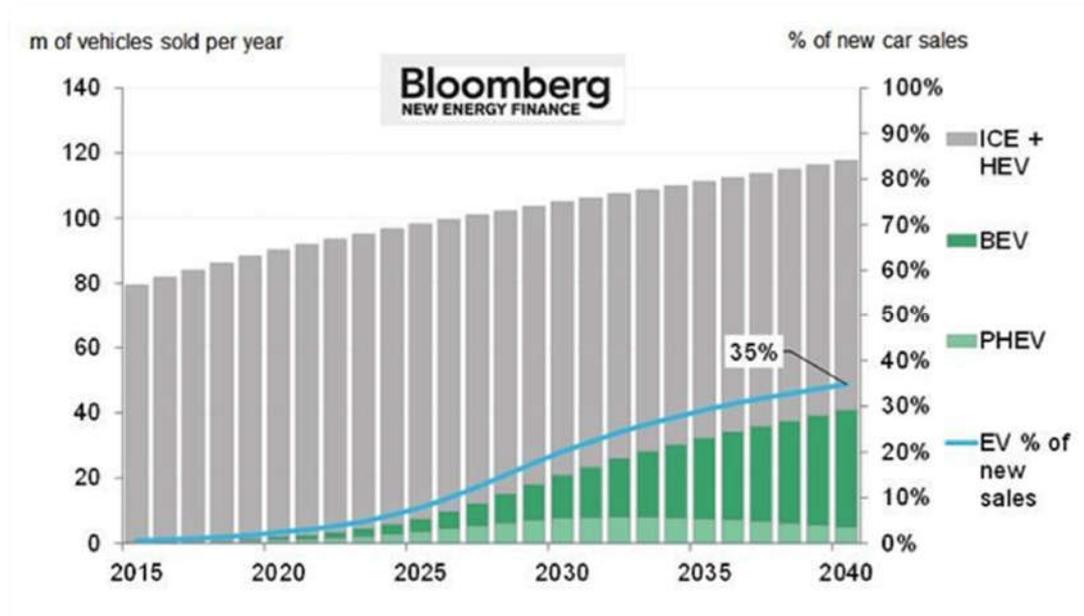


Figura 76. Previsión de la producción de vehículos. Fuente Bloomberg.

En el gráfico: Térmicos combustión interna más híbridos (ICE+HEV), eléctricos (BEV), híbridos recargables *Plug-in* (PHEV) y porcentaje de nuevas ventas de eléctricos (EV) que es la suma de (BEV) y (PHEV).

En esta previsión en 2040 la producción de vehículos eléctricos alcanzará el 35% sumando los eléctricos puros y los híbridos recargables que ya estarán en declive. Lo cierto es que para Bloomberg o para otros analistas más optimistas que también los hubo, la década de los veinte que acabamos de iniciar va a ser decisiva en el proceso. En la curva de expectativas la producción prevista para 2025 es aproximadamente nueve millones y actualmente no llega a tres. Triplicar la producción en cinco años no parece tarea fácil ni creíble.

“Los siguientes 6 a 8 años serán críticos” –afirmó McKerracher– “Si esos volúmenes tienen deficiencias importantes, entonces es posible que no se alcancen algunas de las reducciones en los costos, lo que afectará el punto crucial y, por lo tanto, el nivel de adopción general”.

The Rise of Electric Cars

By 2022 electric vehicles will cost the same as their internal-combustion counterparts. That's the point of liftoff for sales.

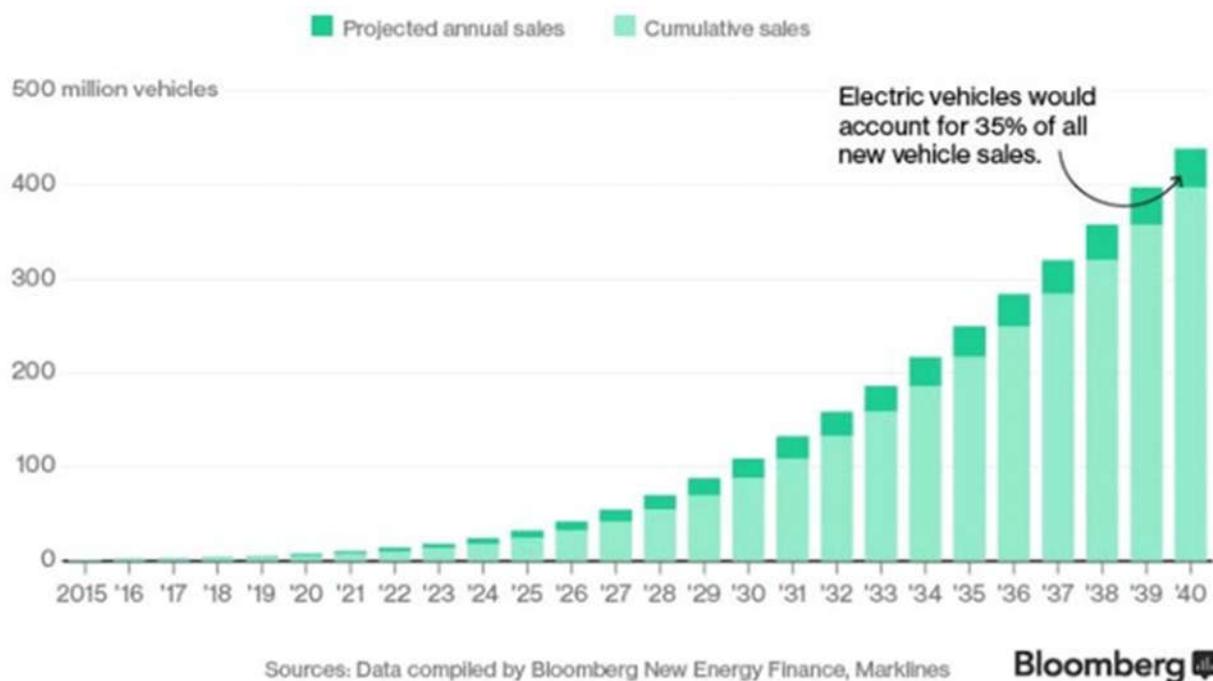


Figura 77. Parque de vehículos acumulado. Fuente Bloomberg.

Este gráfico complementa el anterior y coinciden en el dato de la previsión del que la cuota de mercado en 2040 alcanzará el 35% del total. O lo que es lo mismo, que el 65% serán no eléctricos, que es casi decir de combustión pues pocas excepciones se esperan. El parque acumulado mundial habrá alcanzado 400 millones.

Más difícil parece el cumplimiento de la previsión de 2022 en que el vehículo eléctrico costará lo mismo que el de combustión equivalente, solamente faltan dos años y estamos bastante lejos de conseguirlo.

Las previsiones de Bloomberg no han sido de las más optimistas, las ha habido mucho más exageradas que en 2015 preveían el horizonte en 2030 a solo quince años vista. Es habitual que se sobrevaloren las expectativas cuando los plazos no son inmediatos, pero no deja de sorprender la falta de rigor cuando provienen de gobiernos y organismos que cuentan con herramientas poderosas para el análisis.

10.2 El caso español. Presente y futuro.

Las previsiones oficiales tienen dos fechas clave, a partir del año 2040 solamente se podrán matricular vehículos no contaminantes y a partir del año 2050 solamente podrán circular vehículos no contaminantes. Dicho de otra manera, si asimilamos vehículo no contaminante a vehículo eléctrico quedan veinte años para hacer la transición general y treinta para culminarla.

La situación de partida es que en 2019 las matriculaciones de turismos eléctricos (coches y furgonetas con esta consideración) cerraron el año 2019 con un aumento del 63,4% respecto al año anterior, con un total de 10.047 unidades. El dato del incremento porcentual es muy alto, pero no es significativo cuando se parte de valores tan bajos. A pesar del notable incremento respecto al año pasado, la proporción de las matriculaciones sigue siendo inferior al 0,80% del total.

Para analizar la situación es conveniente conocer algunos otros datos significativos.

La DGT (Dirección General de Tráfico) aporta los datos del parque móvil nacional clasificados exhaustivamente por categorías, por años y por provincias. Las tablas que figuran a continuación es un filtro de datos correspondiente al año 2018.

Clasificación de los Turismos Año 2018				
Turismos Gasolina	Turismos Gas-oil	Turismos Otros	Turismos Total	Totales Total
10.939.069	13.510.143	108.914	24.558.126	33.946.968

Tabla 16. Turismos clasificados por el combustible. Fuente Elaboración propia con datos de la DGT.

Sorprende el número total de vehículos matriculados, casi de 34 millones, de los cuales 9,5 millones corresponden a camiones, autobuses motocicletas, tractores y un largo etcétera. También sorprende el número total de turismos computados, aproximadamente 24,5 millones, Todo ello para una población del orden de 47 millones, lo cual representa más de un coche por cada dos habitantes: Es evidente que muchos están inactivos o sin dar de baja y que no serán repuestos a medida que se les prohíba circular.

Cruzando los datos de la clasificación de la DGT de vehículos por del combustible utilizado y los datos del consumo que ofrece el Ministerio se pueden sacar algunas conclusiones. Para este análisis se toma la gasolina como elemento de diferenciador por cuanto se utiliza casi exclusivamente para consumo de turismos y motocicletas. No es el caso del consumo de gasóleo se utiliza en buena parte en camiones, vehículos industriales y maquinaria diversa con lo cual el método aplicado carecería de utilidad.

Parque de vehículos de GASOLINA 2019						
Camion Gasolina	Furgoneta Gasolina	Autobuses Gasolina	Turismos Gasolina	Motocicletas Gasolina	Otros Veh. Gasolina	Totales Gasolina
82.468	406.404	229	10.939.069	3.582.771	123.802	15.134.743
0,54%	2,69%	0,00%	72,28%	23,67%	0,82%	100,00%

Tabla 17. Clasificación de los Vehículos de gasolina. Fuente Elaboración propia con datos de la DGT.

Matriz de sensibilidad km recorridos 2019					
Vehiculos Gasolina	Cosumo gasolina Tn	Cosumo gasolina kl	litros/ vehículo	Consumo l/1000 km	km recorridos
15.134.743	5.079.940	7.470.500	494	8	6.170
15.134.743	5.079.940	7.470.500	494	7	7.051
15.134.743	5.079.940	7.470.500	494	6	8.227

Tabla 18. Estimación del promedio de Km recorridos por los Vehículos de gasolina. Fuente Elaboración propia con datos de la DGT y del Ministerio de la Transición Ecológica.

La primera columna es el número de vehículos de gasolina según la DGT, la segunda el consumo de gasolina en toneladas según el Ministerio. Aplicando la densidad de la gasolina 0'680 kg/l. la tercera el consumo de gasolina en kilolitros La cuarta columna proporciona el consumo medio en litros por vehículo. Las motocicletas representan casi la cuarta parte del total de vehículos, consumen menos y se suelen utilizar para trayectos cortos. Teniendo en cuenta la disparidad del consumo unitario de las motocicletas respecto a los turismos se considera que el valor ponderado más probable no es inferior a 6 l/100 km y se han obtenido resultados para ese y otros valores considerados,

Evidentemente este análisis carece de precisión pero corrobora la baja utilización media y es un indicador de que muchos vehículos están prácticamente inactivos

Otro dato a considerar es que según el informe de la Asociación de Constructores Europeos de Automóviles (ACEA) en 2018 más de la mitad del parque automovilístico español (62%) tiene una edad superior a los diez años y que la media de edad está en 12,4 años. Sorprende que siendo que las revisiones de la ITV (Inspección Técnica de Vehículos) son obligatorias, haya oficialmente tantos coches en circulación en condiciones presuntamente insuficientes que probablemente ni siquiera pasan la revisión.

La misma DGT estima con sus datos que en España circulan del orden de dos millones de vehículos sin el seguro obligatorio lo cual sigue siendo sorprendente por cuanto no parece difícil cruzar los datos de las aseguradoras y aflorar los indocumentados.

La trazabilidad en este caso y en el anterior está bien clara.

Matriculaciones anuales de Turismos								
AÑO	2.000	2.005	2.010	2.012	2.015	2.016	2.017	2.018
Nº Turismos	1.467.160	1.676.707	1.000.010	710.638	1.094.117	1.230.104	1.342.011	1.424.758

Tabla 19. Evolución del nº de Turismos matriculados. Fuente: Elaboración propia con datos de la DGT.

Esta tabla da cuenta de las oscilaciones de la matriculación de turismos que está directamente asociada a la coyuntura económica. En lo que va de siglo la media de todo el periodo ha sido 1.257.909 vehículos que coincide bastante con el adelanto del dato de 2019. El máximo se produjo en 2005 (33% sobre la media) y el mínimo en 2012 (44% bajo la media) con oscilaciones muy grandes que dificultan establecer el valor de la tendencia.

Con estos datos cabe analizar, en primera aproximación, la viabilidad de alcanzar los objetivos propuestos para la sustitución del vehículo de combustión por el vehículo eléctrico. Hay que centrarse en él porque no es razonable distraer la atención y seguir insistiendo el modelo de hidrógeno u otros que por ahora son inviables.

Los datos de llegada es que en 2040 ya no se matriculen vehículos de combustión lo cual incluye a los híbridos no enchufables. Por tanto, si se cumple previsión, la demanda total será demanda eléctrica y no sabemos cuál será la demanda en ese momento. Partimos de una población estancada y de un parque con más de diez años de antigüedad media que necesita reposición que dependerá de la coyuntura económica, pero en hipótesis podemos considerar la media de crecimiento anual del 1% no acumulativo que sería del 20% en veinte años. Es otra suposición más que nos llevaría a una demanda futura del orden de 1.500.000 vehículos/año.

En la figura 73, de Bloomberg, del aumento de la oferta de vehículos eléctricos sigue una tónica casi lineal partiendo de un valor inicial cero llega al valor final con incrementos anuales prácticamente constantes. Podemos asimilar ese proceso a una progresión aritmética de razón constante y si aplicamos ese criterio, como se parte prácticamente de cero, cada año deberíamos aumentar las ventas en alrededor de 75.000 vehículos eléctricos sobre las del año anterior para que en el último año considerado la totalidad de la demanda prevista fuera eléctrica. Al final del periodo el parque acumulado es el área del triángulo de 20 (años de base) y 1,5 (millones de ventas máximas finales) de altura. Con estos supuestos el resultado sería que en 2040 el parque eléctrico sería de 15 millones a los que hay que habría que restar los que se den de baja por obsolescencia o por cualquier otra causa.

Este razonamiento se cumple en la figura 73, de Bloomberg, a escala mundial donde el periodo considerado es también 20 años y la demanda final se estima en 40 millones/año. El del parque final del periodo es de 400 millones. Obviamente hay diferencia de escala, pero el método y los resultados concuerdan.

Naturalmente ha sido un planteamiento simplista y el método y las hipótesis son discutibles. También es clara la sensibilidad del resultado a los valores que se asignen a las variables y es evidente que el resultado tiene margen de error. Admitidas las objeciones sigue siendo pertinente preguntarse si las

previsiones oficiales para 2040 van camino de cumplirse. La mayoría de las proyecciones se hicieron alrededor de 2015 ó 2017 y algunas previsiones que se hicieron para 2020 o años inmediatos no se han cumplido. Con los datos actuales y las expectativas inmediatas, la respuesta negativa es la más verosímil.

10.3 El caso europeo. Presente y futuro.

La industria automovilística de la Unión Europea se halla en una encrucijada difícil. Durante mucho tiempo sus empresas han sido las más innovadoras y las más avanzadas en todo lo referente al motor de combustión. La ventaja competitiva respecto a E.E.U.U. y a China se mantenía hasta ahora con vehículos de buen diseño y bien equipados tecnológicamente que el mercado aceptaba con éxito. Las investigaciones en curso y los desarrollos tecnológicos eran prometedores y continuaban en la misma línea de siempre, pero mientras tanto en el mundo estaban pasando cosas que iban en otra dirección.

Lo que estaba pasando es que las cuestiones medioambientales pasaron a primer término sobre todo en Europa y las grandes ciudades europeas comenzaron a aplicar normas de calidad del aire muy exigentes y limitaciones al tráfico a quien no las cumpliera. Por otra parte, la Unión Europea estaba regulando los niveles de emisión de CO₂ con objetivos cada vez más restrictivos o simplemente inalcanzables con la tecnología disponible. En esa situación hubo que tomar decisiones empresariales y lo que hicieron fue insistir en lo conocido y dejar de lado la opción del desarrollo de vehículos eléctricos.

Lo que también estaba pasando es que, sobre todo los chinos, estaban desarrollando vehículos eléctricos juntamente con los coreanos y los japoneses. Ellos iban en sentido contrario a los europeos apostando firmemente por el vehículo eléctrico y monopolizando la investigación y la fabricación las baterías recargables.

Para afrontar el reto de la disminución de emisiones los grandes grupos europeos no disponían de oferta de vehículos eléctricos y optaron por insistir en la tecnología conocida. Como era insuficiente, la respuesta trucada fue el *Dieseldgate* que es el punto de inflexión que marcó el antes y el después del vehículo eléctrico europeo cuando por fin las empresas europeas comprendieron que el futuro tenía un componente eléctrico que había que desarrollar.

Pero la descoordinación de los fabricantes con las administraciones europeas todavía prosigue.

El Reglamento (UE) 2019/631 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de abril de 2019, en su afán por reducir emisiones, ha fijado para 2020 el límite de 95 g de CO₂/km y establece las penalizaciones que en caso de incumplimiento deberán pagar los fabricantes. Como referencia de comparación, según datos de PSA Co, los límites de emisiones para 2020 son China 117 g/km, Japón de 122 g/km y Estados Unidos de 125 g/km.

Para los motores de combustión el objetivo europeo de emisiones continúa estando fuera del alcance de la tecnología disponible y seguir investigando en esa línea no tiene mucho sentido cuando la tendencia hacia el motor eléctrico es imparable. Por tanto, cabe suponer que los recursos disponibles para

la investigación se dirijan hacia el vehículo eléctrico y que el desarrollo del motor de combustión quedará relegado en el orden de las prioridades.

La penalización por el exceso de emisiones se calcula para cada fabricante mediante una fórmula compleja en la que intervienen varios parámetros según el tipo de vehículo con excepciones y casuísticas especiales. Lo sustancial es que a partir de 2020 se penalizará a los fabricantes que en el cómputo ponderado de su producción de vehículos rebasen 95 g/km de CO₂ que el objetivo marcado, todo ello multiplicado por los coches vendidos el año anterior. Es una cuantía muy elevada que para los fabricantes será un costo de producción y para los usuarios un aumento del precio de adquisición.

Jato Dynamics da una información detallada de todas estas cuestiones que está disponible en la web ². Calcula que la subida media del precio de los vehículos podría ser del 2,6% y que se calculan pueden alcanzar los 34.000 millones de euros para el conjunto del sector en toda Europa. Es una cantidad enorme, pero hay que tener en cuenta que la producción europea es del orden de 15 millones anuales y que prácticamente la totalidad son con motores de combustión. Con estos datos, no es de extrañar que prácticamente todos los fabricantes vayan a tener en 2020 un eléctrico o un híbrido-enchufable en su gama para rebajar el cálculo de las emisiones ponderadas por vehículo producido y en consecuencia las penalizaciones. Según ese informe *“si las condiciones de 2021 se aplicaran hoy (resultados de 2018 por ventas y emisiones promedio de CO₂), excluyendo los posibles créditos de compensación de las emisiones totales, muchos fabricantes de automóviles que operan en Europa enfrentarían una situación muy difícil. Según nuestros cálculos y los últimos resultados financieros del año fiscal 2018, la cantidad total de multas representaría casi la mitad de sus ganancias netas combinadas.”*

La política europea de transición hacia el vehículo eléctrico tiene por tanto motivaciones tan poderosas que no dejan opción a los fabricantes. Sin embargo, si la amenaza se llegara a cumplir, se produciría la extraña circunstancia de que por una parte se penaliza la industria que los produce y por la otra los estados nacionales están subvencionando la compra de coches nuevos para ayudar al sector a superar la atonía de la demanda que observa con reticencia a un vehículo con limitaciones y con fecha de caducidad.

Habrà que resolver esta y otras contradicciones, pero ahora ya hay conciencia de la situación tanto en las instituciones como en las empresas y se trata de recuperar el tiempo perdido porque Europa no puede resignarse a que uno de sus mayores sectores industriales pierda relevancia. Cabe esperar que el gran capital humano disponible y el gran bagaje tecnológico acumulado serán capaces de dar la respuesta necesaria para así suceda.

² Se puede consultar el documento completo en la siguiente web:

<https://www.jato.com/2021-co2-targets-would-generate-e34-billion-euros-in-penalty-payments-within-europe/>

10.4 La innovación. Ciclo de sobreexpectación. Gráficos de Gartner y de Rogers.

En lanzamiento comercial de un producto tecnológico novedoso no es solamente una cuestión que afecte a la calidad y a la capacidad de producción disponible porque también depende en buena medida de la respuesta que el nuevo producto encuentra en sus consumidores potenciales.

Los teóricos de la mercadotecnia han estudiado estas cuestiones que son de gran trascendencia comercial y se han propuesto varios criterios de análisis. La teoría de la sobreexpectación (*Hype Cycle*) de Gartner es una de las más conocidas. Analiza las expectativas que generan las innovaciones tecnológicas y ha propuesto varios patrones de comportamiento en la evolución de los mercados a lo largo del tiempo. Anualmente, desde 1995, se publica el informe *Hype Cycle* que proporciona una perspectiva general de las tendencias de las industrias tecnológicas emergentes y que ayudan a entender si nos encontramos ante una sobreexpectación o ante una tecnología viable.



Figura 78. Curva de Gartner.

Esta teoría tiene una representación gráfica en la cual se representan las cinco fases que atribuye al proceso de la innovación tecnológica: emergente o desencadenante tecnológico, excesivo entusiasmo o cómo se inflan las expectativas sobre una tecnología, la decepción y la adopción gradual de dicha tecnología.

El ciclo de la sobreexpectación de Gartner está diseñado sobre todo para hacer análisis cuantitativos de utilidad práctica para las estrategias de las empresas con productos innovadores. Podría ser el caso concreto del lanzamiento de un nuevo modelo de coche, eléctrico o no, de una marca determinada.

También se puede aplicar el concepto de la curva de Gartner para un análisis cualitativo con una pretensión más genérica y menos precisa. En este caso se trata de saber en qué fase del proceso se halla actualmente el coche eléctrico como producto de innovación. Por supuesto, al ser un proceso temporal, es imprescindible que cualquier dato o cualquier opinión esté referido a la fecha de referencia.

Siendo cuestión opinable parece que a las alturas de 2020 que el proceso se encuentra situado en el gráfico en el entorno de lo que un tanto dramáticamente han llamado el abismo de la desilusión (*Trough of Disillusionment*), cuando no se cumplen las expectativas, el interés de los usuarios potenciales disminuye. ¿Estamos en la rama ascendente hacia la consolidación o todavía estamos descendiendo hacia el fondo? Evidentemente no hay una respuesta única, pues depende de dónde (Noruega o España) y a quien se plantee (fabricantes o usuarios). Lo que sí parece probable es la consolidación de un cierto escepticismo que tiene que ver con la ley de Amara: “*Nuestra tendencia es sobrestimar los efectos de una tecnología en el corto plazo y subestimar el efecto en el largo plazo*”.

Quedémonos con la segunda parte de esa ley: “*tendemos a subestimar el efecto a largo plazo*”. Eso es cierto y lo es más en caso de la transición al vehículo eléctrico por cuanto el proceso tiene la garantía de los gobiernos para que llegue a buen fin, solo es cuestión de tiempo. Esto lo diferencia en gran manera de las otras innovaciones que a veces triunfan, y a veces fracasan.

Otra herramienta de análisis es la teoría de difusión de innovaciones de Rogers que, a diferencia de la teoría de Gartner, centradas en las fases sucesivas del proceso, esta se centra en las características de los consumidores. Son dos herramientas complementarias que desde perspectivas diferentes interpretan cómo se produce del proceso de la innovación.

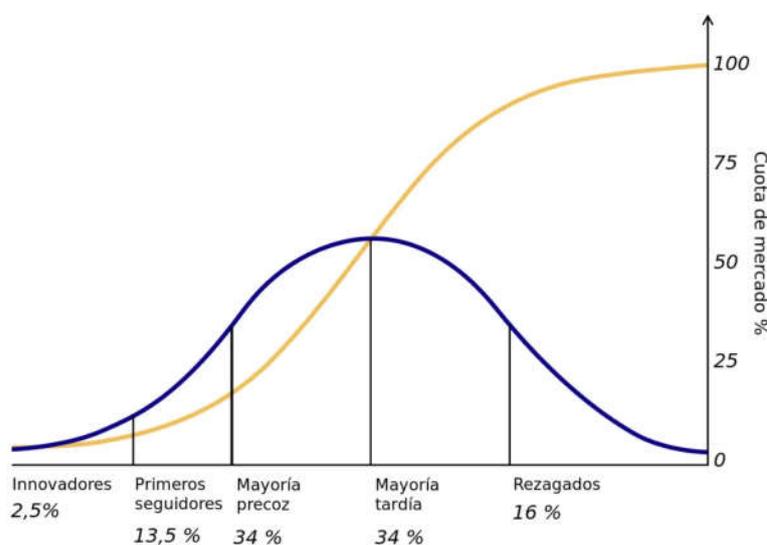


Figura 79. Gráfico difusión de la innovación.

La teoría de difusión de innovaciones de Rogers sostiene que la penetración de una innovación en el mercado está condicionada por las características sociales, económicas y psicológicas de los consumidores, que pueden agruparse por segmentos diferenciados.

Las ideas de esta teoría se ven en este gráfico que consta de dos curvas relacionadas entre sí.

En la curva azul el eje vertical (eje de ordenadas) cuantifica la evolución del proceso por el grado de aceptación. En el eje horizontal (eje de abscisas) se clasifica a los usuarios en grupos de comportamiento

con la medida de su importancia cuantitativa. Representa la secuencia temporal del grado de aceptación del proceso, en términos estadísticos es el equivalente de la función de densidad. La curva amarilla es la representación del valor acumulado de la tasa de adopción, siguiendo en términos estadísticos la curva de acumulación es la integral de la función de densidad. Tiene forma de “S” y muestra como al principio la tasa de adopción solo crece por la participación de los innovadores que, aunque solamente son el 2,5%, por su influencia y por su capacidad de arrastre determinan el ritmo inicial de la implantación. Siguiendo el proceso temporal, posteriormente se van incorporando los siguientes grupos de usuarios según se produce la transición progresiva desde las motivaciones de novedad y utilidad hacia las de seguridad, la calidad y precio. En la zona central de ese tránsito es cuando más aumenta la velocidad de penetración del producto, luego disminuye cuando solo quedan los rezagados y finalmente llega a la saturación que es el término del proceso de la innovación, A partir de entonces ya entramos en una situación convencional.

Análogamente al caso Gartner, el análisis de Rogers es aplicable al proceso de implantación del vehículo eléctrico con la particularidad de que los datos son más concretos y las situaciones están más definidas. Vistos los datos de la producción mundial de coches eléctricos respecto al total, es claro que estamos en la fase inicial de los innovadores pues el porcentaje actual es muy parecido al 2,5% que define a ese grupo:

Los primeros adoptantes del vehículo eléctrico pueden definirse como personas con un poder adquisitivo alto y concienciación por el medio ambiente. Esta definición puede impulsar el salto a la mayoría prematura que puede identificarse con esta definición y por tanto intentar ser parte de este grupo.

Esta parte de la curva de Rogers se puede poner en relación con la curva de Gartner. Los innovadores y los primeros seguidores son los que crean la masa crítica para la progresión del producto y el pico de expectación, mientras que la caída se produce en el momento en el que la mayoría precoz debe tomar el relevo. En algún momento se alcanza el punto más bajo de la curva, y es aquí cuando la mayoría tardía impulsa de nuevo las expectativas hasta que al final los rezagados también se suman creando la meseta final. En esta interpretación, la curva de Gartner sería la valoración de la iniciativa mientras que la de Rogers daría una idea de la adopción (en unidades o ventas). Existe una segunda utilidad de la curva de Rogers que hace hincapié en esta segunda idea ya que puede ayudar a los propietarios del producto a saber cuál es el tamaño del mercado en función del tipo de usuario que adopta el producto. Si los propietarios de la idea son capaces de identificar el perfil de las adoptantes también serían capaces de predecir la demanda potencial. La demanda que los primeros seguidores satisfacen (34% en el gráfico) puede dar una idea de la demanda potencial. La definición de las categorías puede variar de grupo a grupo, por ejemplo, los países nórdicos pueden ser los primeros seguidores en el mercado europeo, mientras que los europeos pueden ser los primeros seguidores a nivel mundial, pero tengamos en cuenta que estamos en un mundo y en un mercado globalizado que actúa de acuerdo con los grandes datos y por tanto esos ejemplos locales valen, pero no cuentan.

Volviendo a la pregunta inicial de este capítulo, ¿se están cumpliendo las previsiones? Si se hace el análisis a la luz de estas herramientas es claro que el proceso no avanza lo suficiente. Estos análisis no entran en las causas que los producen ni en las posibles soluciones a los problemas que pudiera haber, solamente dan la visión de la posición y de la fase de avance del proceso. En este caso lo que muestran es que al cabo de varios años del inicio del proceso todavía estamos alrededor de la zona de mínimos de Gartner, o al menos sigue sin confirmarse la rampa de consolidación. En cuanto al análisis de Rogers el grupo de los nuevos seguidores todavía no ha entrado al relevo de los innovadores.

No son datos buenos para el avance del proceso.

10.5 Tecnología por encargo.

Históricamente el progreso entendido en sentido amplio, ha sido en muchas ocasiones la consecuencia de avances científicos previos que posteriormente se han desarrollado con aplicaciones tecnológicas. Además, para completar el proceso, han necesitado conseguir la utilidad para lograr la aceptación. Esta secuencia actualmente la conocemos como I+D+i, investigación, desarrollo e innovación. No siempre están claramente definidos los límites entre investigación y desarrollo, entre ciencia pura y ciencia aplicada, porque en algunas ocasiones las líneas divisorias se difuminan y se interfieren. Está más clara la delimitación de ambas áreas conjuntas (I+D) con la innovación (i). Esko Tapani Aho (1954), un político y economista finlandés, lo aclaró en gran medida cuando definió la investigación como "invertir dinero para obtener conocimiento", en contraposición a la innovación, que la definió como "invertir conocimiento para obtener dinero".

Este proceso que, tradicionalmente, fluye desde las causas a los efectos, se invierte en algunas ocasiones cuando primero se fija el objetivo a alcanzar y luego se moviliza la investigación necesaria para la causa. Hay casos muy conocidos como el proyecto *Manhattan* para desarrollo de la bomba atómica, durante la segunda guerra mundial, o el más reciente y que tiene más puntos en común con nuestro caso que es el proyecto *Apollo*.

En 1960 la carrera espacial estaba en un momento álgido y la URSS la estaba ganando y E.E.U.U. la estaba perdiendo. Fue entonces cuando el 12 de septiembre de 1962 el presidente Kennedy en un famoso discurso en la *Rice University* (Huston, Tejas) anunció la determinación de su país de poner a un hombre en la Luna antes de que terminase la década. El 20 de Julio de 1969, 7 años más tarde, Neil Armstrong se convirtió en el primer hombre en pisar la superficie de nuestro satélite natural. El envite se había cumplido cinco meses antes de la fecha comprometida y para ello fue necesaria una movilización enorme de recursos humanos y económicos puestos a disposición del objetivo para el que hubo que desarrollar tecnologías, procedimientos y materiales que no existían cuando se hizo público el compromiso. El país disponía de esos recursos, los puso a disposición y ganó. Es un caso típico de éxito de tecnología por encargo.

Hay un cierto paralelismo con lo que sucede actualmente con las baterías recargables que son el elemento determinante para el éxito del vehículo eléctrico. También en este caso hay quien por ahora va por delante en la investigación o por lo menos en la producción que es el mejor banco de pruebas. Son los fabricantes asiáticos con China en cabeza y con las grandes corporaciones japonesas y coreanas que le siguen a continuación. De momento, en 2017 ocho de las diez mayores fabricantes de baterías de ion-litio son empresas asiáticas que en 2016 produjeron más del 85% del total mundial, del cual un 55% correspondía a China. No ha habido variaciones sustanciales desde entonces que alteren la situación.

El gobierno chino tiene una política muy agresiva y muy activa que favorece el desarrollo de la industria nacional con subvenciones al sector interior al tiempo que lo protege del exterior con barreras comerciales y administrativas. Esta situación puede ser premonitoria de lo sucedido con la telefonía móvil cuando China pasó de ser la fábrica que producía componentes baratos para otros fabricantes a convertirse por sí mismo en un competidor tecnológico de alta cualificación.

La industria automovilística europea que tradicionalmente se ha caracterizado por la calidad y el diseño de sus productos está en una situación delicada si no consigue ventaja o al menos autonomía en el suministro de las baterías por cuanto son un componente estratégico que nadie que lo posea va a renunciar a utilizar en su favor. Por ahora el retraso europeo es evidente.

Estamos, por tanto, en un caso de tecnología por encargo que cada cual habrá de resolver a su manera. Hay un gran mercado potencial a la espera de las baterías recargables, un producto que no existe actualmente como tal y cuyas características están bien definidas, sobre todo, a diferencia de las actuales, habrán de proporcionar buena autonomía y necesitarán poco tiempo de recarga; además, peso aceptable y naturalmente precio asequible. Es un gran reto y para alcanzarlo las inversiones y los recursos que haya que dedicar serán muy considerables pero el éxito valdrá la pena porque los que consigan desarrollar el producto tendrán una gran ventaja competitiva, los que queden rezagados tendrán un serio problema.

10.6 La carrera de la investigación en las baterías recargables

Los departamentos de investigación y desarrollo de cualquier sector han sido tradicionalmente uno de los secretos mejor guardado de las empresas. Naturalmente los aspectos más novedosos de las investigaciones son de conocimiento restringido, pero es inevitable que si no en los detalles, al menos se conozcan las líneas generales de las investigaciones en curso. No parece que haya grandes novedades en ciernes. Esto es importante porque todos sabemos que actualmente en la industria del automóvil la gran cuestión a abordar es la transición al vehículo eléctrico y en consecuencia el gran problema que lo condiciona es lo que concierne a las baterías recargables, lo demás es secundario.



Figura 80. Una de las alternativas de futuro más prometedoras. Origen etiquetazero.com.

Por ahora lo que se conoce de las grandes líneas de la investigación es que siguen yendo en la línea de mejorar el rendimiento de las baterías de ion-litio que, prácticamente, acaparan la totalidad de la producción actual. También en limitar la dependencia de materiales escasos y de suministro poco fiable tal es el caso del cobalto y otros similares. No hay grandes novedades.

No cabe duda que las mejoras cuantitativas van a producirse por perfeccionamiento o por pura inercia en el propio devenir de la producción, pero cabe preguntarse si esa vía será suficiente para alcanzar el objetivo deseado. Probablemente no porque lo necesario es un salto cualitativo, la disrupción, que por el momento no se vislumbra.

Es frecuente que algunos medios especializados hablen de nuevas tecnologías de aparición inminente que luego no se confirman. El grafeno es el material maravilloso que siempre aparece como panacea del futuro y al que se le supone aplicación en muchos campos de la tecnología, una eterna promesa de más de medio siglo que nunca se cumple y que está relegada a aplicaciones secundarias que no suelen pasar de la fase experimental. Tal es el caso de la batería de nanocables que es una batería de iones litio con ánodo de nanocables de silicio que sustituyen al ánodo tradicional de grafito. Hace años que se conoce en sus principios básicos, pero no ha conseguido pasar de la fase experimental.

Estas consideraciones pueden llevarnos a otra nueva y distinta. En ocasiones sobrestimamos la rapidez de los avances técnicos, sobre todo cuando requieren la implantación masiva como es el caso. No solo se trata de conseguir resultados en laboratorio, hay que pasar a nivel de prototipo y luego desarrollarlos a escala de producción industrial cuando la tecnología ya esté suficientemente consolidada. En caso de error las consecuencias pueden ser catastróficas.

Tal vez ninguna de las tecnologías en curso tenga suficiente potencial para ser la solución necesaria que se requiere para el futuro. Tal vez estemos en ciernes de otra línea tecnológica que deje obsoleta la actual, aunque tampoco hay indicios de que sea así. Tal vez sea aplicable el viejo dicho de que a “a los primeros exploradores que llegaron a África se los comieron los leones, la segunda oleada ya sabía de qué iba el asunto y acabó con los leones” Algo parecido ha sucedido con las instalaciones de la primera generación de placas fotovoltaicas, las actuales integran tecnología que produce más del doble y cuesta menos de la mitad. En cualquier caso, quedarse al margen y expectante mientras la competencia toma posiciones es una decisión de alto riesgo.

10.7 La innovación, la disrupción y el proceso. Tres ejemplos y tres discrepancias.

A lo largo de todo lo expuesto implícitamente se ha considerado que el proceso de transición al vehículo eléctrico es un proceso de innovación. Cabe plantear el verdadero significado de lo que es la innovación, de lo que es un proceso y el alcance que se supone a la disrupción y en qué medida se cumplen los requisitos en el vehículo eléctrico.

Más que abordarlo como una cuestión teórica, los casos que se describen que con sus similitudes y sus discrepancias pueden ser útiles para entender el fondo de la cuestión y sus consecuencias.

- a) El primero caso es la implantación masiva de los televisores en color en la década de los setenta.

La llegada de la televisión en color fue una innovación indiscutible que superaba claramente las prestaciones de los televisores en blanco y negro. y los usuarios potenciales enseguida lo percibieron como el futuro indudable de la televisión. Era evidente que iba a ocurrir y los hechos nunca pusieron en duda las previsiones.

El otro aspecto importante a señalar es que, simultáneamente a su aparición en el mercado, las emisoras ya estaban emitiendo programación en color y los usuarios pudieron aprovechar desde el primer momento las ventajas que ofrecía.

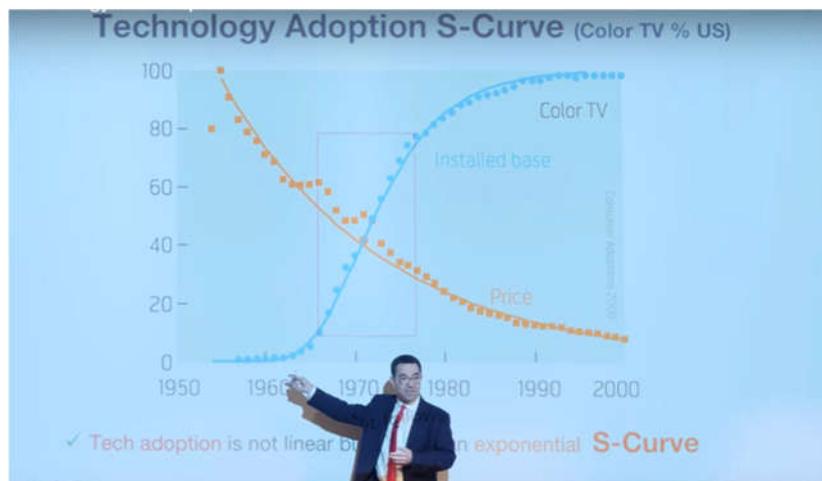


Figura 81. El profesor Tony Sebas mostrando la curva de Rogers.

Este es un caso típico que sirve como ejemplo la curva en “S” de Rogers.

En la imagen son perfectamente identificables los cinco grupos de comportamiento; Los innovadores, los primeros seguidores, la mayoría precoz, la mayoría tardía y los rezagados. La curva en rojo da cuenta de la bajada de precio cuando aumenta las ventas y se producen las economías de escala.

b) El segundo caso es Steve Jobs y la revolución del *smartphone*.

El 27 de junio de 2007 salió al mercado el primer iPhone de Apple y de inmediato transformó el mercado. Por entonces triunfaba Blackberry con su teclado *QUERTY*, iPhone incorporaba muchas novedades: pantalla táctil, aunque con muchas limitaciones, cámara de fotos, mapas y varias aplicaciones interesantes, pero la base del éxito fue conexión fácil a internet.



Figura 82. Steve Jobs con el iPhone 1.

Solamente los genios son capaces de ver lo que el resto de los mortales no pueden ver. Conectarse a Internet en una pequeña pantalla de 3,5 pulgadas sin disponer de un teclado eficiente no parecían tener mucho que aportar frente a la conexión en el ordenador, pero vio más allá y esa decisión cambió para siempre la manera de relacionarse. Algunas de las innovaciones incorporadas al iPhone ya eran conocidas por separado, pero incorporarlas a la vez transformó un teléfono móvil en algo distinto y mucho más útil.

Diez años más tarde los *smartphone* se generalizado y se han convertido para muchos en imprescindible y probablemente en el elemento más difundido en el mundo.

El contraejemplo es el caso Kodak. En 1973, Kodak contrató a un joven ingeniero llamado Steven Sasson, que fue quien inventó el proceso que nos permite tomar fotos digitales y enviarlas en segundos al otro lado del mundo usando dispositivos móviles. Kodak patentó su primera cámara digital en 1978, pero no desarrolló la idea porque temió que fuera a perjudicar su negocio de venta de película fotográfica.

Posteriormente en una entrevista con *The New York Times*, Sasson reveló que sus jefes estaban "convencidos" de que jamás nadie querría ver sus fotos en una pantalla como la del televisor.

El devenir tecnológico hizo el resto: Kodak se declaró en quiebra en 2012, Apple cotiza actualmente por encima del billón de dólares.

c) El tercer caso es el proceso de implantación del automóvil en E.E.U.U. a comienzos del s. XX.

Como es sabido, a finales del s. XIX los coches automóbiles ya habían alcanzado cierto desarrollo tecnológico pero su difusión todavía era escasa.



Figura 83. Quinta Avenida de Nueva York antes y después de la irrupción del automóvil.

Sin embargo, en apenas 13 años que separan ambas fotos los coches de caballos que eran omnipresentes en 1900, han desaparecido totalmente en 1913. Ambas fotografías definen claramente todo el proceso desarrollado con fluidez, rapidez y sin obstáculos.

Los tres casos que se han comentado tienen varios elementos en común que los diferencian de la transición del coche eléctrico.

- Hay innovaciones evidentes en los tres casos. Los televisores, los *smartphones* y el automóvil son mejoras claras sobre sus predecesores. En el vehículo eléctrico al usuario la innovación no le aporta ventajas prácticas sobre el vehículo de combustión.
- La disrupción que no es la mera evolución respecto a la situación anterior, se produce cuando la nueva tecnología cambia las reglas del juego de un mercado (el televisor en color), la vida de las personas (el *smartphone*) o a una sociedad entera (el automóvil). Una tecnología disruptiva es una innovación que genera la desaparición de productos o servicios que, hasta entonces, eran utilizados por la sociedad: ya no se fabrican televisores en blanco y negro, tampoco teléfonos sin conexión a internet y los coches de caballos han desaparecido salvo para pasear turistas.
- Finalmente, el proceso también sigue cursos diferentes. En los tres citados no hay necesidad de apoyos ni subvenciones por cuanto basta el atractivo que tienen para los usuarios potenciales. Cosa distinta sucede con el vehículo eléctrico que difícilmente podría implantarse sin

normativas favorables y sin subvenciones económicas. Al menos hasta que solucionen las carencias actuales.

10.8 La casa y el tejado

En nuestro caso la cuestión de la transición del motor de combustión al motor eléctrico, como es sabido, tiene origen en la preocupación medioambiental de los países europeos por el cambio climático y por la contaminación del aire de las grandes ciudades. Es evidente que el parque de vehículos con motor de combustión con sus emisiones de CO₂ y otros gases de efectos contaminantes es una causa fundamental del doble perjuicio que para el clima y para el aire y se ha decidido actuar para encontrar remedio. La ventaja que se sabe lo que hay que hacer, el inconveniente es que el cómo no está tan claro.

La cuestión empezó a hacerse realidad hace aproximadamente en 2018 según el caso cuando algunas ciudades europeas de las más importantes establecieron limitaciones y prohibieron el acceso de los vehículos que no cumplieran los requisitos impuestos. En nuestro caso en Madrid y Barcelona.

La aprobación de normativas legales aprobadas en la Unión Europea y las declaraciones de intenciones no siempre concretadas, han tenido gran impacto en la opinión pública. Más todavía en nuestro país con declaraciones terminantes que anticipaban todavía más las fechas de referencia del fin de la comercialización de los vehículos de combustión al año 2030 y la prohibición de circulación al año 2040.

La “casa” que se pretende construir es un edificio ambicioso, nada menos que una revolución en toda regla en un sector enorme con la inercia propia de su dimensión. Y para que el mensaje quedara claro conviene que los objetivos tengan fecha redonda, 2030 y 2040 respectivamente y así se hizo.

Comenzar por el “tejado” es lo que se pretende hacer por normativa legal cuando el vehículo eléctrico que debe sustituir a los actuales de combustión simplemente no existe. Ni en la producción que todavía es insignificante en relación a la producción convencional, ni en la tecnología de las baterías que no está lo suficientemente desarrollada para sustituir el parque actual en los plazos pretendidos.

Basta con considerar lo que queda por recorrer para que la oferta del coche eléctrico alcance el nivel de la demanda total existente. Si además de sustituir la demanda actual lo que se pretende es reponer el parque existente las cuentas todavía salen peor.

También está la cuestión de la red de electrolineras sin la cual el vehículo eléctrico no puede funcionar y aunque más alejada en el panorama global pero no menos importante, el plan de sustitución de la generación eléctrica por energías renovables sin las cuales el vehículo eléctrico pierde el sentido de ser.

Sorprende la descoordinación entre todos estos aspectos que en conjunto y por separado son necesarios para el buen fin el plan del coche eléctrico. Sorprende, sobre todo, porque estas cuestiones tan evidentes que no hayan entrado en consideración de los responsables que definen las políticas del sector.

También es interesante constatar como la lejanía de la fecha objetivo actúa en sentido inverso a la precisión del mensaje, cuanto más lejanas las fechas, más rotundos son los mensajes. Están en las hemerotecas las declaraciones de responsables políticos que con gran convicción en 2017 y 2018 afirmaban

el fin del diésel para 2040, luego esos delirios se han ido atemperando con el paso del tiempo, tal vez también propiciado por el cambio de década. Hay algo psicológico que en 2020 nos hace percibir y por tanto afrontar el mismo acontecimiento de 2030 como algo más inmediato y con la sensación de proximidad aflora el sentido de la realidad. Puede ser efectivo a corto plazo, pero actuando así se resiente la credibilidad de los dirigentes y de los compromisos adquiridos y eso seguro que es negativo.

Sea por lo que fuere, casi sin avisar y sin dar justificación alguna, el doble objetivo de nuestro país se ha modificado y se ha retrasado diez años. Las nuevas fechas son 2040 para prohibir la matriculación de los vehículos de motor de combustión y 2050 para la prohibición de la circulación. A partir de entonces solo habrá coches eléctricos, al menos esa es la versión oficial por ahora.

Con todas las incertidumbres y con todos los cambios presente e incluso los que pudieran ocurrir, podría decirse que la casa (el objetivo) sigue siendo la misma pero el tejado está más alto, (el plazo se ha ampliado) y se trata de ver si ya se le ponen los cimientos (el vehículo) que por ahora son insuficientes.

Pere Navarro, director de la Dirección General de Tráfico (DGT), lo ha definido acertadamente en unas declaraciones recientes: *“cometimos el error de vender un producto que no teníamos en la estantería, no tenemos dónde enchufarlo y el precio es carísimo. Nos equivocamos todos”*.

11. Conclusiones.

A lo largo de los capítulos anteriores ya ha habido conclusiones parciales que consideradas en conjunto anticipan la conclusión final. No es caso de repetir las en detalle y simplemente se trata de hacer algunas matizaciones.

Es evidente que en el sector hay una transformación en curso inducida por la implantación del vehículo eléctrico que va a determinar el futuro inmediato de la automoción para las próximas décadas. Las repercusiones le afectarán en una medida como no había sucedido en mucho tiempo. También afectarán a otros sectores conexos y sobre todo al sector eléctrico y al del petróleo, en este caso con repercusiones geopolíticas importantes.

El proceso ha comenzado en algunos países que han establecido limitaciones de uso del vehículo de motor de combustión por las emisiones contaminantes y se han marcado fechas y objetivos muy ambiciosos para sustituirlo por el vehículo eléctrico que no produce emisiones. Lo novedoso del caso es que por el momento ese vehículo no está disponible con los requisitos necesarios para sustituirlo. Todo queda a la espera de lo que pueda suceder en el futuro inmediato. Por eso existen dudas razonables y generalizadas sobre el realismo de los plazos oficiales en el que pocos creen y del que muchos dudan. Probablemente el sector está entre los más incrédulos, pero ha asumido que la transición es inexorable y que el futuro es eléctrico. Para ellos quedarse fuera no es una opción.

A partir de ahí empiezan las cuestiones prácticas para conseguir un vehículo realmente operativo que todavía no existe. Cuando se alcance la tecnología para fabricar el coche eléctrico eficiente habrá que adaptar las líneas de producción y eso requerirá inversiones ingentes, pero se sabrá cómo hacerlo y se hará cuando se precise, incluso con ayudas estatales si fueran necesarias.

Ese no será el mayor problema y todos son conscientes de que la pieza fundamental que falta para conseguir el vehículo eléctrico realmente operativo son las baterías recargables. El I+D+i para desarrollarlas va a ser decisivo puesto que la posición de partida es manifiestamente insuficiente y no bastará la simple mejora de lo existente, se necesitará algo nuevo. Aquí entra en juego la tecnología por encargo y en esa carrera participan las grandes empresas consolidadas que quieren mantener sus posiciones y las nuevas empresas emergentes que quieren aprovecharla la oportunidad para alcanzar relevancia. Lo que para unos es una amenaza para otros es una oportunidad y el resultado final está por dilucidar, pero cabe suponer que el statu quo actual tendrá alteraciones importantes.

En el ámbito de su competencia las legislaciones que prohíben tienen efectos inmediatos y contundentes, pero en una sociedad de mercado libre no se puede legislar obligando a hacer lo que no existe. Se puede prohibir que los coches que contaminan no circulen, pero no se puede obligar a las empresas que fabriquen coches eléctricos si no hay demanda suficiente y menos aún, a que los consumidores los compren si no encuentran alicientes para hacerlo.

Por el momento los usuarios no los encuentran y el proceso de transición no avanza lo suficiente por mucho que se pretenda lo contrario.

Según la teoría de difusión de innovaciones de Rogers todavía no hemos salido de la fase de los innovadores (2'5%) y no se atisba el paso decidido a la siguiente, todavía inicial, la de los nuevos seguidores (13'5%). La cuestión radica en que las previsiones de la implantación del vehículo eléctrico dependen casi en exclusiva del resultado de la investigación de las baterías lo cual condicionará el desarrollo de todo el proceso. En casos como este, cuando se quieren hacer previsiones de futuro, el grado de indeterminación de la variable es superior al grado de precisión aplicable en el análisis y por tanto el resultado adolece de fiabilidad.

El análisis de Blomberg incluido en capítulos anteriores puede servir para ilustrar esa idea. Blomberg hace tres previsiones de futuro en relación a tres áreas diferenciadas, cada una con características propias.

La primera es la estimación de la correlación entre la implantación del vehículo eléctrico y la disminución del consumo de petróleo ambos a escala mundial. Si como cabe suponer el método de análisis es correcto, el grado de precisión del resultado puede ser muy alto para cada uno de los escenarios considerados.

El segundo caso es la evolución a la baja del coste de las baterías. Cuando hay una serie de datos estadísticos previos es inmediato hallar una curva de la tendencia por extrapolación sin perjuicio de otros análisis complementarios más precisos. Cosa distinta es la interpretación del resultado de Blomberg pues, aunque el precio de las baterías se redujera considerablemente, si la autonomía y la recarga no fueran satisfactorias, el atractivo del vehículo eléctrico, aunque fuera barato resultaría insuficiente. Si así sucediera el análisis pierde validez porque si no se vende no se producen las economías escala y proceso se retroalimenta.

El tercer caso es la previsión de la producción estimada para 2040 que según Blomberg alcanzará el 35% de la producción mundial. Quede claro que no se pretende poner en duda ni la metodología ni la solvencia de los resultados porque no hay motivo para ello. Simplemente se trata de puntualizar que cuando un proceso tiene una dependencia tan clara de una sola variable, los resultados son inestables en la medida que lo es la variable.

¿Es posible que se cumpla la previsión de Bloomberg respecto a la cuota alcanza por el vehículo eléctrico? Probablemente si o tal vez no. Dependerá fundamentalmente del resultado de la investigación de las baterías. Incluso podría superarse si el resultado de la investigación se anticipara más de lo previsible.

Por eso quizás el planteamiento correcto fuera hacerlo al revés: ¿Qué previsión se puede hacer suponiendo la investigación de las baterías fuera exitosa en 2025, en 2030 etc.? Partiendo de esas hipótesis los resultados serían más precisos por cuanto el resto de las variables es razonablemente previsible.

Y a continuación surge la pregunta inmediata: En el análisis de Bloomberg ¿Cuál ha sido la hipótesis sobre las baterías recargables en las que ha basado la previsión? Sería interesante conocer la respuesta porque ahí está la cuestión básica del planteamiento de la cuestión.

Por consiguiente, hay bastantes incertidumbres, pero también hay algunas certezas:

En primer lugar, está asumido que este es un proceso irreversible en el que conocemos el punto de partida y el punto de llegada. Sabemos que el vehículo eléctrico es el futuro del sector y conocemos a los actores participantes: las administraciones públicas que lo apoyan, las empresas que están dispuestas para producirlos y también a los consumidores que lo aceptarán sin dificultad cuando el producto esté disponible en precio y prestaciones adecuadas. Solamente falta por determinar el cuándo.

En segundo lugar, que el mayor problema pendiente es la autonomía y de la recarga de las baterías, el resto se resolverá sin grandes dificultades. Una vez resuelto el problema de las baterías el futuro del coche eléctrico quedará expedito y la implantación será fácil y rápida porque todo lo demás son ventajas.

En tercer lugar, que con el paso del tiempo las consecuencias del cambio climático serán más evidentes y aumentará la presión medioambiental en favor de los vehículos sin emisiones. Este aspecto cada vez tendrá más importancia

Siendo responsable únicamente del 9% de las emisiones de gases de efecto invernadero y de poco más del 15% de la producción mundial de vehículos, la Comisión Europea ha tomado el mayor compromiso adquirido frente al cambio climático con dos hitos concretos en 2040 y 2050. Cabe recordar que en la previsión de Bloomberg para 2040 la producción mundial del vehículo eléctrico será el 35% del total producido. Por tanto, si se cumplen ambas previsiones, en 2040 el 15% europeo totalmente eléctrico sería casi la mitad del 35% del total mundial eléctrico. Lo uno parece mucho, lo otro parece poco.

Miguel Arias Cañete, excomisario europeo de Medio Ambiente lo dejó claro en una rueda de prensa:

“Podemos hacerlo. Y si tenemos éxito otros seguirán. Si no lo lideramos nosotros nadie más lo hará. Y si nadie actúa, un cambio climático desenfrenado afectará severamente a Europa y al resto del mundo”.

12. Bibliografía.

- «ABC». *La transición hacia la total electrificación durará unos 25 años*, 12-13. 27 de enero de 2018.
- «ABC». *Cargar el coche en casa y usar su propia energía*, 43. 3 de mayo de 2018.
- «ABC». *Las baterías suponen un tercio del valor de estos coches*, 40-41. 5 de julio de 2018.
- «ABC, suplemento Motor». *La condena al diésel afectará a miles de empleos y a la recaudación de impuestos*, 1-3. 13 de julio de 2018.
- «ABC». *Si no ayuda el Estado, el cambio al coche eléctrico será más lento*, 40. 26 de julio de 2018.
- «ABC». *Sustituir las nucleares por renovables en 2028 un objetivo casi imposible*, 34-35. 17 de noviembre de 2018.
- «ABC, suplemento Negocios». *Desaparición del motor de combustión. El Estado dejará de ingresar más de 23.000 Millones anuales*, 12. 18 de noviembre de 2018.
- «ABC». *Sustituir las nucleares por renovables tendría un sobre coste de 1.000 millones al año*, 32. 21 de noviembre de 2018.
- «ABC». *La Comisión cree que Europa podrá vivir sin petróleo en 2050*, 58. 29 de noviembre de 2018.
- «ABC». *España pionera en vetar la combustión, pero a la cola en ayudas a los ECO*, 42-43. 24 de enero de 2019.
- «ABC». *120 años de evolución de los sistemas de iluminación. De las velas a los faros*, 40-41. 14 de febrero de 2019.
- «ABC». *Las empresas se enchufan al negocio de las electrolineras*, 14. 10 de marzo de 2019.
- «ABC». *45% de los directivos del automóvil dan al diésel más de diez años de vida*, 40-41. 23 de mayo de 2019.
- «ABC». *El automóvil urge tener un plan para que España no quede rezagada*, 38-39. 26 de diciembre de 2019.
- BAÑOS, P. (2018). *El dominio mundial. Elementos del poder y claves geopolíticas*. Barcelona, Planeta editorial.
- CALVO REBOLLAR, M. (2019). *Construyendo la tabla periódica*. Zaragoza, ediciones Prames.
- «Cinco días». *El desarrollo de las baterías y la ligereza fijan la hora de la disrupción*, 21. 16 de enero de 2019.
- «Cinco días». *Las eléctricas reclaman un calendario para el cierre nuclear ordenado*, 5. 16 de enero de 2019.
- «Cinco días». *El ejecutivo plantea el cierre del carbón y cuatro nucleares hasta 2030*, 5. 23 de febrero de 2019.

- COMELLAS, J. L. (2011). *Historia de los cambios climáticos*. Madrid, editorial Rialp.
- DELORENZO, M. (2004). *American car. Past to present*. Madrid, editorial White Star Publishers.
- EDSALL, L. (2005). *Prototipos. Desde los años treinta hasta hoy*. Madrid, editorial Libsa.
- «El Mundo». *Punto y final al coche actual por el cambio climático*, 22-24. 14 de noviembre de 2018.
- «El Mundo». *España será el primer país europeo con una ley que prohíba el diésel*, 41. 24 de enero de 2019.
- «El Mundo». *Vamos hacia el coche eléctrico, pero sin una estrategia definida*, 45. 8 de febrero de 2019.
- «El Mundo». *El Gobierno aprueba 60 millones para subvencionar los eléctricos*, 32. 16 de febrero de 2019.
- «El Mundo». *¿Habrá coche privado en la ciudad?*, 21-23. 1 de abril de 2019.
- «El Mundo». *El no rotundo del Londres central a los coches*, 24. 3 de abril de 2019.
- «El Mundo, extra vehículos ecológicos». *China imbatible en la fabricación de baterías*, 4, 7-8. 7 de mayo de 2019.
- «El Mundo». *España a la cola de electro movilidad*, 35. 6 de marzo de 2020.
- «El País». *El largo camino hacia el coche eléctrico*, 31. 21 de enero de 2011.
- «El País, suplemento Abril». *El carsharing se prepara para vivir su revolución definitiva*, 44 (2018).
- «El País». *Los incentivos a los coches eléctricos son ridículos*, 56. 16 de septiembre de 2018.
- «El País». *El Gobierno propone vetar en 2040 la venta de coches de combustión*, 24. 14 de noviembre de 2018.
- «El País». *¿Hay energía para tanto coche eléctrico?*, 13. 16 de noviembre de 2018.
- «El País, suplemento Negocios». *La industria española inicia la carrera del coche eléctrico con desventaja*, 13. 17 de noviembre de 2018.
- «El País». *Bruselas fija el fin de las emisiones de efecto invernadero para 2050*, 22. 28 de noviembre de 2018.
- «El País». *Hablamos mucho del coche eléctrico y el problema es el todoterreno urbano*, 28. 5 de diciembre de 2018.
- «El País». *El Gobierno decidirá la vida útil de las nucleares según las renovables*, 43. 17 de diciembre de 2018.
- «El País, suplemento Negocios». *El coche europeo se asoma al abismo*, 13. 27 de enero de 2019.
- «El País». *China acelera la electrificación*, 47. 27 de abril de 2019.

- «*El País, suplemento Negocios*». *El patrón de los fabricantes de coches europeos saca las uñas*, 12. 12 de mayo de 2019.
- «*El País*». *Set estrena en Noruega su estrategia para el coche eléctrico*. 5 de junio de 2019.
- «*El País, suplemento Negocios*». *El coche se enchufa a ciegas*, 1-5. 29 de septiembre de 2019.
- «*El País, suplemento Motor*». *Las emisiones medias de cada fabricante*, 1-3. 20 de octubre de 2019.
- «*El País*». *Industria busca emplazamientos para fabricar baterías de coches eléctricos*, 53. 1 de diciembre de 2019.
- «*El País, suplemento Negocios*». *La Formula E impulsa desde la experiencia deportiva la tecnología eléctrica*, 11. 15 de marzo de 2020.
- «*El País*». *Las emisiones medias de cada fabricante*, 41. 2 de mayo de 2020.
- «*El Periódico Mediterráneo*». *Endesa decide volcarse en la movilidad eléctrica*, 52. 17 de noviembre de 2018.
- «*El Periódico Mediterráneo*». *Resucita la limusina de Mao*, 35. 28 de noviembre de 2018.
- «*El Periódico Mediterráneo*». *Europa estrecha el cerco a las emisiones de óxido de nitrógeno*,
- «*Expansión*». *Endesa, Iberdrola y Naturgy pagaran 4.000 millones por el apagón nuclear*, 3. 4 de septiembre de 2019.
- «*Expansión*». *España sigue a la cola de Europa en la transición al coche eléctrico*, 7. 20 de septiembre de 2019.
- GARCÍA COLINS, L (1986). *De la máquina de vapor al cero absoluto. Calor y entropía*. México, Fondo de Cultura Económica.
- GHEETHAM, C. (2005). *Coches de ensueño. De 1900 a los años cuarenta*. Madrid, editorial Libsa.
- GHEETHAM, C. (2005). *Coches de época*. Madrid, editorial Libsa.
- HEIMANN, J. (2005). *The Golden Age of Advertising. The 50's*. Colonia, Alemania, ediciones Taschen.
- HUXLEY, A (1999). *Un mundo feliz*. Barcelona, editorial Plaza y Janés.
- «*La Vanguardia*». *Los jóvenes exploran como compartir transporte privado o pago por uso*, 25. 12 de enero de 2019.
- «*La Vanguardia*». *El escándalo del Dieseltgate. La crisis que cambió el automóvil*, 64. 19 de septiembre de 2019.
- «*La Vanguardia*». *Cinco países de la UE prevén el fin del vehículo tradicional*, 27. 20 de septiembre de 2019.
- «*Mundo Gráfico*». *El incendio del laboratorio de Edison (1914)*.
- PITRON, G. (2019). *La guerra de los metales raros*. Madrid, Ediciones Península.

- POUNDSTONE, W. (1995). *El dilema del prisionero*. Madrid, Alianza Editorial.
- VIVAS, C. (2018). *De la Panderola al Tram. Consideraciones sobre el Transporte Público en Castellón*. Castellón, Universidad Jaume I.
- V.V.A.A. (2005). *Coches de ensueño. Los años cincuenta*. Barcelona, ediciones CEA.
- V.V.A.A. (2018). «Colección *El Estado del Planeta. Tomo 2*». *El cambio climático*. Madrid, FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- V.V.A.A. (1994). *Medios de transporte*. Madrid, editorial Santillana.
- WILSON, A. (2011). *Transportes*. Barcelona, ediciones BSA.

13. Webgrafía.

- https://es.globalpetrolprices.com/gasoline_prices/#h1214
- https://es.globalpetrolprices.com/additional_resources.php
- <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/cuanto-cuesta-cargar-coche-electrico-tarifas-luz-que-hay-espana>
- <https://www.ipcc.ch/>
- <https://www.electromaps.com/>
- <https://theleccy.co.uk/>
- <https://www.aop.es/>
- <https://www.idae.es/>
- <https://www.miteco.gob.es/es/>
- <https://anfac.com/>
- <https://www.autopista.es/noticias-motor/articulo/el-gobierno-confirma-cuando-se-prohibiran-en-espana-los-coches-diesel-gasolina-e-hibridos>
- <https://www.jato.com/spain/>
- https://aesva.org/?jump=amplia_noticia&id=130&idioma=es
- <https://www.stauto.org/>
- https://es.wikipedia.org/wiki/Destilaci%C3%B3n_fraccionada
- http://www.prestigeelectriccar.com/historia-394-Ayrton_&_Perry_1881
- <http://www.electromaps.com/puntos-de-recarga/mapa>

14. Índice de imágenes.

- Figura 1:
Imagen propia extraída del periódico ABC. 28 de febrero de 2018.
- Figura 2:
https://es.wikipedia.org/wiki/Ford_T
- Figura 3:
https://en.wikipedia.org/wiki/Ford_Australia
- Figura 4:
<https://www.constructionspecifier.com/wp-content/uploads/2019/04/bigstock-Chrysler-building-84073106-331x500.jpg>
- Figura 5:
<https://twitter.com/investmentsglo/status/1220020765539565570/photo/1>
- Figura 6:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/5c/Motor_Vehicle_Production_1950_2013_es.svg/1280px-Motor_Vehicle_Production_1950_2013_es.svg.png
- Figura 7:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/87/Motor_Vehicle_Production_Share_1950_2013_es.svg/1280px-Motor_Vehicle_Production_Share_1950_2013_es.svg.png
- Figura 8:
<https://slideplayer.com/slide/4207067/>
- Figura 9:
<https://twitter.com/hagp/status/449128980114079744>
- Figura 10:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2a/57_Chevy_BelAir.jpg
- Figura 11:
<https://earthtechling.com/wp-content/uploads/2012/02/highway-charge.jpg>
- Figura 12:
https://e00-elmundo.uecdn.es/elmundomotor/imagenes/2013/09/19/industriales/1379610848_extras_ladillos_1_g_0.jpg. Extraído del diario Expansión. 20 de septiembre de 2013.
- Figura 13:
http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/imagenes/mec_bie-man-emb02.gif
- Figura 14:
http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/imagenes/mec_bie-man-emb01.gif

- Figura 15:
<https://okdiario.com/img/2017/07/05/revolucion-industrial-1-990x556.jpg>
- Figura 16:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/cc/Steam_engine_in_Science_Museum_Power_gallery.ogv/300px--Steam_engine_in_Science_Museum_Power_gallery.ogv.jpg
- Figura 17:
https://www.macmillaneducation.es/wp-content/uploads/2018/12/MOT_cat.pdf
- Figura 18:
<https://www.automodel.net/forums/topic/28117-e-se-si-inventasse-un-wankel-per/>
- Figura 19:
<https://aulaenred.ibercaja.es/contenidos-didacticos/maquinas-termicas/1-ciclo-de-otto-6773/>
- Figura 20:
<https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/04/09/ciclos-otto-y-diesel-analisis-termodinamico/>
- Figura 21:
<https://cdn.wartsila.com/images/default-source/references/marine/merchant/emma-maersk-main-image.tmb-width661.jpg?sfvrsn=3>
- Figura 22:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a3/Esquema_de_curva_par-velocidad_de_un_motor_de_combustion.png/240px-Esquema_de_curva_par-velocidad_de_un_motor_de_combustion.png
- Figura 23:
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/56/Petroleum.JPG>
- Figura 24:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/31/Adler_Diplomat_3_GS_mit_Holzgasgenerator-hinten_rechts.JPG
- Figura 25:
https://www.automobilismodepoca.it/files/galleries/1/8/5/185/M_il-dieselgate-e-le-bistrattate-ventennali_1.jpg
- Figura 26:
<https://aeropinakes.com/wordpress/wp-content/uploads/2017/11/mundo-27-sep-1942014.jpg>
- Figura 27:
https://cdn.slidesharecdn.com/ss_thumbnails/001-090819053532-phpapp02-thumbnail-4.jpg?cb=1250660359

- Figura 28:
https://cdn.slidesharecdn.com/ss_thumbnails/001-090819053532-phpapp02-thumbnail-4.jpg?cb=1250660359
- Figura 29:
<https://thegildedtimes.files.wordpress.com/2014/08/baker-color.jpg>
- Figura 30:
https://www.diariomotor.com/tecmovia/imagenes/2012/07/posts/bailey_edison_1000-dm-700px.jpg
- Figura 31:
Página Edison (escaneada del original). Procedente de la revista mundo gráfico de 30 diciembre de 1914.
- Figura 32:
<https://www.actualidadmotor.com/wp-content/uploads/2017/02/motor-electrico.jpg>
- Figura 33:
<https://i.ytimg.com/vi/CEg2XEM-rHQ/maxresdefault.jpg>
- Figura 34:
<https://testcoches.es/wp-content/uploads/2017/01/tesla-model-s-potencia-par-curva-750x465.jpg>
- Figura 35:
<https://www.hibridosyelectricos.com/media/hibridos/imagenes/2020/04/08/2020040810571235392.jpg?width=1200&enable=upscale>
- Figura 36:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/65/BMW-i3-Electric_Drive_unit2.JPG
- Figura 37:
https://lh3.googleusercontent.com/proxy/XxxbpVWyyzMSxyBB1ZOSsng7SQdbMHlITeFAKlWp2tMn9y3e0y2jICoSnUhXX1gZj5w_CJ6hoOOxm87gAmZ5V5X6GDK8_iQLwIvpbShR2vPM9sUPQmFbqP8A4y6bhM
- Figura 38:
Esquema de la energía. Imagen cedida por el profesor Anxon Sánchez Bermúdez.
- Figura 39:
http://agrega-2hahre.pntic.mec.es/repositorio/20092015/e0/es_20071227_1_5049998/Contenido/30383__158_a_1.jpg
- Figura 40:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f1/Electrolysis_of_Water.png/800px-Electrolysis_of_Water.png

- Figura 41:
<https://expert.enginyerstarragona.cat/wp-content/uploads/2020/02/pila-hidrogen.png>
- Figura 42:
<https://image.stern.de/8898908/16x9-1200-675/46c49d57b5a7264d68c8f3c944679de8/sN/zitteraal.jpg>
- Figura 43:
https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/55774638e4b089fdb0dc3937/1545424082937-704ORH7A5QM1EIG4YPY6/ke17ZwdGBToddI8pDm48kPxIRhzwIYYJgDn0xb-82i17gQa3H78H3Y0txjaiiv_ofDoOvxcdMmMKkDsyUqMSsMWxHk725yiiHCCLfrh8O1z5QPOohDIaIeljMHgDF5CVIOqpeNLcJ80NK65_fV7S1UcEBWQjmCB-O_YvvhCjslW3VxVNs__VK719rykwJav_DW07ycm2Trb21kYhaLJddA/122018_AFC_02.png
- Figura 44:
<https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/files/2017/03/Sin-t%C3%ADtulo-1.png>
- Figura 45:
https://www.researchgate.net/profile/Chaozhong_Qin/publication/331822342/figure/fig1/AS:742055580037120@1553931245169/a-Schematic-of-a-polymer-electrolyte-fuel-cell-PEFC-stack-and-b-two-dimensional.png
- Figura 46:
<https://i1.wp.com/elitediario.com/wp-content/uploads/2019/10/ED-Hindenburg.jpg?fit=1250%2C705&ssl=1>
- Figura 47:
<https://www.wissenschaft.de/wp-content/uploads/b/r/brandbild.jpg>
- Figura 48:
<https://01a4b5.medialib.edu.glogster.com/cJXFfUeDVthWC5OMVoDr/media/ca/ca75770313155b4f9cedebdbc480872efaa7b51/resized-image2-b6f4132c800567c5b8ece01999ecc9c3-thumbnail.jpg>
- Figura 49:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bd/Thomas_Edison%27s_nichel%E2%80%93iron_batteries.jpg
- Figura 50:
Imagen extraída del Diario ABC de 5 de julio de 2018. Página 41. Fuente: RACE.
- Figura 51:
https://infographic.statista.com/normal/chartoftheday_18278_global_rare_earth_production_n.jpg

- Figura 52:
https://sites.google.com/a/educacion.navarra.es/tecnologia-plaza/_/rsrc/1510083459270/web/mecanismos/CURVAS%20PAR%20POTENCIA%20MOTORES.png
- Figura 53:
 Imagen extraída de <http://www.moviltec.es/>
- Figura 54:
 Imagen escaneada por el autor. “El estado del Planeta. El cambio climático”. Volumen 2 pág. 11. FAO Organización de las Naciones Unidas para el Cambio Climático.
- Figura 55:
 Imagen escaneada por el autor. “El estado del Planeta. El cambio climático”. Volumen 2 pág. 27. FAO Organización de las Naciones Unidas para el Cambio Climático.
- Figura 56:
 Imagen escaneada por el autor. “El estado del Planeta. El cambio climático”. Volumen 2 pág. 17. FAO Organización de las Naciones Unidas para el Cambio Climático.
- Figura 57:
https://cdnb.20m.es/sites/147/2018/11/marta6-11_1-620x549.png
- Figura 58:
<https://www.top10motor.com/wp-content/uploads/2019/03/co2-vehiculos-contamina.jpg>
- Figura 59:
<https://cdn.computerhoy.com/sites/navi.axelspringer.es/public/styles/480/public/media/image/2017/09/261791-schuko.jpg?itok=gj1S6hQE>
- Figura 60:
<https://cdn.computerhoy.com/sites/navi.axelspringer.es/public/styles/480/public/media/image/2017/09/261871-recarga-semirapida-wallbox.png?itok=s0FyAVaP>
- Figura 61:
<https://cdn.computerhoy.com/sites/navi.axelspringer.es/public/styles/480/public/media/image/2017/09/261867-recarga-green.png?itok=7v1Iw3CJ>
- Figura 62:
<https://www.expansion.com/> en su edición del 3 de diciembre de 2018
- Figura 63:
 Fotografía realizada por el autor del trabajo
- Figura 64:
https://d500.epimg.net/cinco dias/imagenes/2019/09/04/companias/1567601041_941572_1567621674_noticia_normal_recorte1.jpg

- Figura 65:
https://d500.epimg.net/cincodias/imagenes/2019/08/15/companias/1565882794_679127_1566241501_noticia_normal_recorte1.jpg
- Figura 66:
https://i.blogs.es/e6340b/1366_2000-3-/1366_2000.jpg
- Figura 67:
<https://media.theurbandevolver.com/raw/images/Screen-Shot-2016-12-08-at-9.42.42-AM.png>
- Figura 68:
<https://movilidadelectrica.com/wp-content/uploads/2016/10/Predicci%C3%B3n-del-Big-Crash.jpg>
- Figura 69:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SSL-spanish_300dpi.jpg
- Figura 70:
Imagen extraída del TFG de Agustín Delgado Tatay.
- Figura 71:
<https://www.motorpoint.com/fotos/editor/4544/precio20carburante20copia.jpg>
- Figura 72:
https://www.google.es/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Ftwitter.com%2Fel_pais%2Fstatus%2F1042688814769233920&psig=AOvVaw3i1bzLCsCoDiBm6LMpvx52&ust=1594285092727000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCMDW2fikveoCFQAAAAAdAAAAABAD
- Figura 73:
<https://lecinemaamericainhome.files.wordpress.com/2019/01/american-way-of-life-800x445-e1547474496905.png>
- Figura 74:
http://www.oldcarbrochures.com/static/NA/Plymouth/1957%20Plymouth/1957_Chrysler-Plymouth_Brochure/1957%20Chrysler-%20Plymouth-05.jpg
- Figura 75:
<https://static.independent.co.uk/s3fs-public/thumbnails/image/2016/02/22/09/london-commute-3.jpg>
- Figura 76:
<https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/sector/informe-bloomberg-ano-2022-programada-revolucion-coche-electrico/20160227102415011165.html>
- Figura 77:

- <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/sector/informe-bloomberg-ano-2022-programada-revolucion-coche-electrico/20160227102415011165.html>
- Figura 78:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/be/Gartner_Hype_Cycle-de.svg
 - Figura 79:
https://www.researchgate.net/profile/Julio_Almenara/publication/322021721/figure/fig1/AS:574677296455680@1514025152870/Figura-1-Fases-niveles-de-adopcion-de-la-tecnologia-segun-Roger-1983-La-propuesta-de.png
 - Figura 80:
https://etiquetazero.com/wp-content/uploads/grafico_baterias.png
 - Figura 81:
Imagen extraída de Youtube. <https://youtu.be/2b3ttqYDwF0>
 - Figura 82:
<https://www.gannett-cdn.com/media/2017/06/23/USATODAY/USATODAY/636338271719748030-1-2.JPG?width=2560>
 - Figura 83a:
<https://therationalpessimist.files.wordpress.com/2015/03/where-is-the-car-jpeg.jpg?w=500>
 - Figura 83b:
<https://therationalpessimist.files.wordpress.com/2015/03/where-is-the-horse-jpeg.jpg?w=500>