

VEHICULOS ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN SIN BATERIAS QUE COGEN LA ENERGÍA DEL SUELO SIN CONTACTO

Una vista básica del transporte por carretera, en un posible futuro eléctrico renovable

Por Alejandro Bonet
Valdemorillo - Madrid
Junio de 2007
alex@winbabel.org

Indice:

- 1.- Introducción, ventajas e inconvenientes
- 2.- El desolador panorama actual
- 3.- Soluciones (técnicas y no técnicas)
 - 3A.- Los bio-combustibles
 - 3B.- El hidrógeno
 - 3C.- Los vehículos híbridos
- 4.- Historia e inducción eléctricas
- 5.- Como funciona el vehículo de inducción
- 6.- Rendimiento
- 7.- Los costes
- 8.- Primer esbozo de la parte técnica
- 9.- Conclusiones

1.- Introducción, ventajas e inconvenientes

El vehículo de inducción es, desde el punto de vista técnico, el mejor sustituto viable para el transporte por carretera. Su eficiencia es óptima a nivel energético, sus emisiones nocivas directas son cero, y si la electricidad de la que se alimenta es producida por energías renovables, entonces sus emisiones indirectas también son cero. Permite una transición suave y sencilla hacia un modelo de transporte sostenible, ecológico y eficiente energética y económicamente.

El único inconveniente es el de la transformación (electrificación) de las carreteras y calles, pero, como veremos a continuación, los costes de este cambio son perfectamente asumibles, tanto técnica, como económica, como energéticamente.

El vehículo de inducción, es totalmente compatible con los vehículos de combustión interna (que son el malo en esta película). Es fácil convertir vehículos de combustión en vehículos de inducción. De hecho la industria ya está fabricando y comercializando vehículos híbridos (de los que hablaremos también porque son muy importantes), que son, con muy ligeras modificaciones, aptos para su uso con el modelo de transporte por inducción.

El vehículo de inducción, no es una panacea universal para revertir el desastroso derroche energético y medioambiental que supone el modelo de transporte actual de combustión, desastroso derroche que habrá que atajar con medidas de promoción del transporte colectivo (de inducción por supuesto), medidas de promoción de los carriles para vehículos con varios ocupantes, reducción de la velocidad media en los desplazamientos y otras que, necesariamente se tendrán que tomar en breve, si no queremos ser testigos, víctimas y causantes de una crisis energética y ecológica de proporciones bíblicas.

El vehículo de inducción no es patentable (lo puede producir cualquiera sin pagar "derechos de autor" a nadie), y lo tenemos que poner en marcha ya.

2.- El desolador panorama actual

Actualmente el 40% de la energía que se consume en España, es para transporte. Esta energía procede completamente de la combustión de hidrocarburos (petróleo y gas), y por tanto no es sostenible. Además, esta combustión genera CO₂ y otros gases de efecto invernadero a razón de 3 kilogramos de polución por cada kilogramo de combustible consumido. (El hecho "sorprendente" se debe a que en el CO₂ hay un carbono procedente del hidrocarburo, y dos oxígenos procedentes del aire).

Estos gases de efecto invernadero producen un calentamiento global, al impedir que la radiación solar que llega a la atmósfera escape de ella, produciendo un cambio climático (o por lo menos agravándolo, si es que el que ya existe no tiene origen humano, cosa bastante discutible).

Este cambio climático es uno de los problemas mas graves con los que se enfrentan las actuales generaciones humanas. Grave sobre todo, porque no sabemos lo que nos puede traer, aunque lo que ya sabemos que trae (sequías, inundaciones, fenómenos meteorológicos extremos, inviernos en pleno verano y veranillos en pleno invierno, cambios de ciclos migratorios de otras especies animales, subida de la latitud media de las migraciones animales y de las poblaciones de algunas especies vegetales, calentamiento/enfriamiento de masas enormes de agua del océano, subida de las temperaturas medias globales de la atmósfera, desaparición progresiva de las masas de coral que mantienen la vida en el mar, huracanes que batan records de tamaño y violencia, deshielo de las grandes masas continentales polares, aumento del nivel del mar y desaparición de zonas costeras) no es desde luego bueno para nadie. Ni siquiera para las compañías petroleras, que se supone que quieren seguir "viviendo" aquí, como todos los demás.

Las compañías petrolíferas afirman que no es por culpa de la quema de hidrocarburos, y gastan enormes sumas de dinero para comprar opiniones de científicos para que afirmen esto también, de forma descarada y pública. Y algunos científicos (pocos) pican. Pero los principales organismos científicos internacionales hablan claro, de que la actividad humana está en el origen del problema. Los datos (que se pueden discutir, pero no para desinformar y confundir, sino para informar mas y mejor) hablan de una clara relación entre la actividad humana y el cambio climático.

Existen otras explicaciones posibles al fenómeno del cambio climático, que hace pocos años, incluso se ponía en duda que existiera (como no, por las petroleras), pero los registros meteorológicos y climáticos ya han despejado cualquier duda: El calentamiento global es un hecho.

Estas otras explicaciones hablan de ciclos largos (glaciaciones y calentamientos de decenas de miles de años), ciclos de actividad solar (que se sabe que son debidos a la actividad electromagnética del sol y tienen periodos de 11 años), y otros ciclos aún mas largos y desconocidos, como la trayectoria del sol alrededor de la galaxia (cientos de millones de años atravesando mucho espacio vacío y algunas otras cosas no tan vacías), el grado de inclinación del

eje de giro de la tierra (un ciclo de 26000 años), nubes de cometas en órbitas largas alrededor del sol (del orden de miles o decenas de miles de años), etc.

Cuanto mas aprendemos, mas complicado se vuelve el panorama, y mas simulaciones de ordenador (costosas, discutibles, complicadas y que no son en absoluto definitivas, pero ayudan a entender), mas teorías nuevas y mas descubrimientos nada halagueños. Mas confusión en los medios de comunicación, mas intereses económicos privados que se ponen en duda...

La humanidad (y el planeta entero) se enfrenta a un nudo gordiano de crisis múltiple, económica, ecológica, energética, social, política, sanitaria, demográfica y militar, que requiere medidas urgentes de sentido **común**.

La quema de hidrocarburos, es solo uno de los muchos problemas, quizá el mejor conocido, pero desde luego no es el único. Sin embargo, este documento se ha de centrar necesariamente en él.

El petróleo es un recurso que está a punto (si no lo ha sobrepasado ya) de llegar a su máximo mundial de producción (cenit o pico del petróleo). En los próximos años su precio se va a disparar de forma polinómica (algunos afirman que exponencial), es un recurso natural finito y no renovable, y causa de grandes conflictos geopolíticos, con muchos muertos. Cientos de miles, como poco, en los últimos años.

La humanidad empezó a consumir petróleo de forma masiva, aproximadamente a finales del siglo XIX. El consumo siempre ha crecido cada año desde entonces, llegándose a un máximo en el presente año (2007). Los datos de producción y reservas indican que estamos a mitad de camino de quemar todo el que hay, pero hemos sacado la mitad fácil de sacar. La otra mitad que queda, cada vez va a ser mas difícil de sacar. De hecho se estima que la última cuarta parte no se podrá sacar sin usar mas energía que la que se obtiene al quemarlo.

El petróleo se supone, con bastante unanimidad de opinión, que proviene del aplastamiento tectónico de fósiles de seres vivos. Es útil para una infinidad de cosas, principalmente de índole material, mas que energética. La lista de materiales y usos posibles crece de forma constante desde hace años, sin embargo quemarlo para obtener energía es lo que hacemos con mas intensidad.

Aproximadamente el 95% del uso que le damos es quemarlo directamente en nuestros motores de combustión, calderas de calefacción, y también en algunas centrales eléctricas térmicas.

El transporte quema casi la mitad del petróleo mundial, para meter nuestros flamantes coches privados en un atasco que cada día desperdicia una ingente

cantidad de petróleo y genera otra ingente cantidad de contaminación, y desde luego no nos hace ni mas felices, ni consigue que llegemos antes a nuestro destino.

España, además es (y ha sido siempre) un importador neto de petróleo. Nuestros recursos propios son casi despreciables frente a lo que importamos del exterior y quemamos. Sin embargo, nuestro consumo siempre ha ido creciendo cada año. No hay ninguna duda: Vamos por muy mal camino.

3.- Soluciones (técnicas y no técnicas)

Las soluciones, por supuesto existen: Transporte colectivo (a ser posible gratuito), y promoción de la utilización del vehículo privado mas eficiente (reducir la velocidad media y aumentar el número de ocupantes). Estas son las soluciones que no tienen nada que ver con la técnica. Son soluciones "políticas". Hay que ponerlas en marcha ya mismo. Son fáciles si hay buena disposición por parte de los semi-dioses-humanos que supuestamente hemos elegido para que decidan por nosotros. Hacen falta algunas nuevas reglas, y nos guste o no, van a reducir nuestra sacrosanta "libertad".

En la otra mano, tenemos las soluciones técnicas: Combustibles "ecológicos" (bio-diesel y bio-etanol, que tienen el prefijo bio, y la clasificación de "sostenibles o ecológicos", por una cuestión mas de propaganda que técnica), los vehículos híbridos (mitad combustión, mitad eléctricos, muy interesantes, y que empiezan a enseñarnos el camino correcto), los vehículos eléctricos de baterías de hidrogeno (un poco quiméricos, pero interesantes, aunque no tan eficientes, y actualmente en fase de "invención" y en los que hay que profundizar sin duda), y los vehículos de inducción (de los que este documento es un primer estudio bastante detallado).

La mezcla de varias soluciones técnicas es perfectamente posible técnicamente. Pueden existir vehículos que mezclen dos o mas de estas diferentes tecnologías en diferentes grados. Los vehículos híbridos son un buen ejemplo. Sin embargo, no debemos olvidar que las soluciones técnicas, son mucho menos eficientes siempre que las soluciones no técnicas. La mejor energía es la que no se llega a consumir: El ahorro y la eficiencia.

Una vez que hemos comprendido el problema, y entendido que la solución es mas política (y cultural) que técnica, vamos a analizar una por una las diferentes soluciones técnicas.

3A.- Los bio-combustibles

Sin duda alguna la cultura de la publicidad, que se basa en estudios estadísticos muy serios, y ha analizado el inconsciente del individuo medio de una forma mucho mas profunda de lo que nos podamos imaginar, ha llegado a una conclusión inevitable: Lo Bio vende.

Pero estamos en la parte técnica de este análisis. No en la parte cultural o política.

Una buena manera de comprobar si los bio-combustibles son buenos para el futuro (a corto, medio y largo plazo), es compararlos energéticamente con otras energías.

A favor de los Bio-combustibles, está el impecable hecho de que son limpios materialmente para la atmósfera: El CO₂ que se produce al quemarlos, es el mismo que las plantas (y otros organismos vivos) de los que salen, absorbieron del ambiente para su propio crecimiento. Se supone que volviendo a cultivarlos, el expelido en la combustión volverá a absorberse en un nuevo crecimiento. Esto cierra el ciclo del CO₂ y es la principal "ventaja" que tienen los Bio-combustibles.

Sin embargo, un inconveniente serio es que se usan para motores de combustión, y el motor de combustión tiene un rendimiento pésimo: Solo entre un 15% y 20% de las calorías que se sacan al quemar el combustible (sea bio, o fósil) se convierte en movimiento. El resto es calor que va a parar, por supuesto, a la atmósfera. En este sentido, los bio-combustibles son neutros en cuanto a contaminación material, pero no en cuanto a contaminación energética: Generan mucho calor.

Usar bio-combustibles como medio de calefacción en las casas, puede tener sentido (aunque enseguida veremos que hay otras maneras mucho mas eficientes, y por tanto también es descartable), porque precisamente de lo que se trata es de eso: Producir calor. Pero desde luego si de lo que se trata es de producir movimiento, son bastante ineficientes, ahora veremos el porqué.

El sol es la fuente de energía primaria fundamental: Todas las energías que aprovechamos los humanos, los no-humanos y el propio planeta Tierra, provienen del Sol. El viento, las mareas, los combustibles fósiles y hasta la energía geotérmica (e incluso la nuclear), provienen originariamente del sol. El sol nos da una cantidad de radiación diaria constante (llamada precisamente "constante solar") que es la que es. Esta energía se distribuye sobre el planeta de múltiples formas. Una buena parte es reflejada (del orden del 10%, esto se llama albedo), otra parte es aprovechada por todos los seres vivos en sus procesos vitales, otra es aprovechada por la propia tierra para producir sus ciclos no-vivos (viento, mareas, movimientos tectónicos, creación de elementos químicos, etc), y el resto es irradiada al espacio exterior.

Puesto que la energía ni se crea ni se destruye, se transforma constantemente en todos estos procesos, que se dividen en sub-procesos y sub-sub-procesos hasta niveles microscópicos.

Las plantas aprovechan la energía del sol a través de la llamada "fotosíntesis". Este es un proceso material y energético bien estudiado pero no totalmente comprendido en la actualidad, pero cuyo rendimiento energético es muy discutible (y poco discutido). El rendimiento de una transformación energética, siempre depende del objetivo que se persiga.

Si el objetivo de la fotosíntesis es crear plantas que vivan felices y coman perdices por si mismas, entonces el rendimiento es bastante bueno. Si el objetivo es que estas plantas nos alimenten a los animales (humanos o no), entonces también el rendimiento esta muy bien.

Si el objetivo es que estas plantas alimenten nuestros coches de combustión, entonces el rendimiento es nefasto. Si el objetivo es cultivar plantas para quemarlas en nuestras calefacciones en invierno el rendimiento es super-nefasto. Si el objetivo es cultivar plantas para que comamos los animales, y con los residuos sobrantes generar calor, entonces el rendimiento es bueno. Pero solo como residuos de alimentación y para producir calor, nunca movimiento.

Un panel solar fotovoltaico (convierte luz del sol en electricidad de forma directa), tiene un rendimiento del 20%. De toda la luz solar que recibe, el 20% se convierte en electricidad.

Una planta que ha sido cultivada para ser quemada en un motor tiene un rendimiento inferior al 1%. Estos cálculos no son evidentes para todos, pero si para cualquiera que tenga paciencia suficiente para estudiar todo el ciclo, y conozca la aritmética básica (sumar, restar, multiplicar y dividir).

Esto es en lo relativo a la producción de movimiento para el transporte. Para la producción de calor, la cosa es todavía mucho mas grave: El rendimiento de un panel solar térmico (usa el calor del sol para calentar agua y son muy baratos de construir), es cercano al 90%. El rendimiento de una planta vegetal que se cultiva con el único propósito de ser quemada en un sistema de calefacción, es de nuevo el 1%. De toda la energía que llega del sol, solo aprovechamos un 1% para calentar nuestra casa si dedicamos hectáreas de cultivo para calentarnos.

Existen otras consideraciones "prácticas" de los llamados Bio-combustibles. Actualmente están siendo subvencionados por nuestros Semi-Dioses-humanos que supuestamente hemos elegido para que decidan por nosotros. Es decir, el agricultor que tenga unos terrenos, y cultive plantas que sean susceptibles de ser usadas como Bio-combustibles, recibe unos euros por cada hectárea que cultive.

Bueno, esto, desde un punto de vista económico-social, puede ser interesante para los agricultores, no tanto para los no-agricultores que somos mayoría, es discutible desde el punto de vista moral (supone el desvío de fondos públicos para beneficiar actividades privadas) y tiene varios peligros ocultos. Uno es que los llamados mono-cultivos (cultivar siempre la misma planta en el mismo terreno), es nefasto para la biodiversidad de ese terreno: Cada planta consume unas cosas del suelo y suelta otras.

Si siempre cultivamos la misma planta en el mismo terreno, las cosas que consume dicha planta desaparecerán del terreno en pocos años, llenándose de aquello que la planta desecha. Desde los albores de la civilización agrícola nos llega la voz serena y potente de la idea de que los cultivos hay que rotarlos:

Cambiar de planta en el mismo terreno cuanto mas mejor, porque los nutrientes y desechos de unas plantas y otras, se complementan.

Si las variedades de plantas que se pueden cultivar para producir bio-combustibles, son pocas y parecidas entre si, corremos el serio riesgo de quedarnos con terrenos poco fértiles, que tardarán décadas en recuperarse. Por otro lado, si usamos los terrenos para algo, (por ejemplo, producir energía), dejamos de usarlos para otras cosas (por ejemplo, comer), y viceversa.

El estudio de la agricultura es apasionante. Pero su utilización desde un punto de vista energético, es simplemente descartable: No cunde prácticamente nada y trae nuevos peligros asociados. Hoy en día, la única "utilidad" de este modelo absurdo que nos proponen los Semi-Dioses-humanos que supuestamente hemos elegido para que decidan por nosotros, es el desvío de dinero público a manos privadas. Otro mas, por si teníamos pocos (militarismo rampante, energía nuclear superpeligrosa, hospitales construidos con el dinero de todos y "explotados" a nivel privado, etc, etc, etc)

¡Ah! Hay unos científicos que proponen el uso de algas como bio-combustibles, su rendimiento es exactamente el mismo: convertir solo un 1% de la energía del sol en movimiento o calor, y obtener sustanciosas subvenciones de los SDHQSHEPQDPN.

La conclusión que podemos extraer las personas de a pie, de toda esta retórica pro-Bio-combustibles, es que los Bio-Combustibles no van a ayudarnos a las personas de a pie, ni tampoco a nuestro querido planeta. A algunos, sin embargo, si que les van a ayudar, pero esto es pan para hoy y hambre para mañana. Por no hablar del no por manido menos cierto tema de que los bio-combustibles se cultivarán en los países pobres con mucho sol, en donde el hambre campa a sus anchas, y quemados en los coches de los países ricos, todo a cambio de un dinero que cada día que pasa, parece perder mas valor real.

Desde luego no van a despejar la tormenta que se avecina. Solamente van a agregar mas leña al fuego (en todos los sentidos de esta expresión), y nos van a despistar de nuestro objetivo primario: Resolver el futuro energético de la humanidad de una vez por todas. Cada día mas voces se levantan con argumentos difícilmente contestables indicando que el futuro es sin duda alguna, ahorro y electricidad renovable. Por este orden.

3B.- El hidrógeno

El hidrógeno es el componente material básico del universo. Casi el 90% del universo es hidrógeno. El sol es una gran bola ardiente de hidrógeno y helio (nombre este último, dado por los griegos al Sol, y usado también 2000 años

después por la ciencia química para designar a un elemento casi inerte químicamente que existe muy poco en la Tierra, pero mucho en el Sol).

El hidrogeno se presenta en tres variedades: Hidrogeno "normal", el Deuterio y el Tritio. El normal es el que abunda en la naturaleza: El agua esta formada por dos hidrógenos y un oxigeno como todo el mundo sabe, pero estos hidrógenos son principalmente "normales" (con un protón en el núcleo y un electrón rondando alrededor). El deuterio y el tritio están también en el agua, pero la proporción de estos es millones de veces inferior al hidrogeno "normal".

El proceso principal que tiene lugar en el interior del sol es la fusión del hidrogeno: Se juntan dos átomos de hidrogeno y se produce un átomo de helio. Este proceso libera mucha energía. Los humanos llevamos intentando reproducir este proceso de forma controlada en laboratorio desde mediados del siglo pasado, con el fin de obtener energía. Lo mas que hemos conseguido es, a base de juntar una cantidad enorme de energía, obtener un poco mas de la que metemos, pero solo durante unos pocos segundos. El problema parece ser que estriba en que la temperatura a la que hay que poner el hidrógeno para que se funda consigo mismo y genere helio y energía, es tan alta que hay que confinar con campos electromagnéticos el hidrogeno, porque ninguna pared de ningún material conocido puede aguantar tanta temperatura. Este confinamiento magnético es muy difícil de conseguir.

El estudio de la fusión nuclear es muy importante desde un punto de vista científico, lo mismo que el estudio de los bio-combustibles. Pero no es importante, desde un punto de vista energético en la actualidad, dado el nivel de resultados experimentales que hemos logrado. Sin embargo, si con los Bio-combustibles ya hemos visto que energéticamente no tienen interés ni nunca lo tendrán (aunque haya que seguir estudiándolos por muchos otros motivos), la fusión nuclear si que pudiera llegar a tener interés a medio y largo plazo para la humanidad, en el campo energético.

En este punto, hay que volver a señalar la diferencia crucial que existe entre fusión nuclear y fisión nuclear. Esta segunda es la que usamos en las centrales nucleares actuales. Es, sin ningún genero de dudas, tan nefasta o mas que los bio-combustibles desde un punto de vista energético. Pero desde el punto de vista ecológico, es SUPER_SUPER_SUPER_nefasta.

Montar o mantener funcionando centrales nucleares de fisión es un atentado contra la vida de todos, de primera magnitud.

No es este el documento apropiado para discutir cada uno de los puntos por los que esta afirmación no es una locura de ecologistas sandia (rojos por dentro y verdes por fuera), sino una afirmación de tremendo y evidente sentido común de ecologistas tomate (rojos por dentro y por fuera, y con rabo y semillas verdes). Sin embargo, sin meternos mucho en la discusión (que se resuelve en dos patadas si es necesario, y aquí tienen mi pie a su entera disposición los culos pro-nuclear que quieran "reabrir el debate"), si que es importante volver a enumerarlas:

- No son renovables: El uranio es un recurso tan finito como el petróleo.
- Son poco eficientes energéticamente: Para sacar X kilowatios del proceso de fisión, hay que gastar Y kilowatios en la mina de uranio, en su refinado, su transporte y en la construcción de la central. Una vez el uranio en la central, no toda la energía nuclear se convierte en electricidad, sino solo una parte. No está claro que el cociente entre X ganado e Y consumido sea mayor que uno (rentable). Mas bien parecen del mismo orden de magnitud, o incluso parecen sumideros energéticos (cociente menor que uno), es decir, sin petróleo para extraer el uranio de la mina, no son viables.
- Son extremadamente peligrosas: Constantemente hay pequeños, medianos y grandes accidentes en las centrales nucleares. Alguno ha causado la muerte de forma directa o indirecta a cientos de miles de personas, y contaminado para toda su vida, y la de sus descendientes, a millones de personas, sin contar otros seres vivos. Tan es así, que la fórmula de cálculo de probabilidad de accidente, en función de la gravedad del mismo, es perfectamente conocida y la realidad la confirma una y otra vez desde hace décadas.
- Son tremendamente sucias: Todos los materiales que se usen en una central de estas, terminan contaminados radiactivamente. Ropa, herramientas, materiales de construcción, etc. El uranio radioactivo enmierda todo lo que toca.
- La suciedad que provoca no desaparece en milenios. El periodo de semidesintegración del uranio es de miles de años (el tiempo que tarda en quedar la mitad de la mierda que había antes).
- No son rentables económicamente: Construir una central de estas, por las medidas extremas de seguridad que entraña, y que no son para nada infalibles según las fórmulas de probabilidad de accidente, no rinde cuentas al final: Si se tarda en construir varios años, cuesta una millonada, y funciona produciendo electricidad (poca si se tiene en cuenta las pérdidas en obtener, refinar y transportar el uranio) durante unas pocas décadas, el rendimiento económico es prácticamente nulo. Eso sí, si los pro-nucleares consiguen que "se reabra el debate", que es lo mismo que decir "queremos subvenciones públicas", entonces sí es rentable económicamente (para ellos). Pero energéticamente sigue siendo nefasta. Además, en las cuentas de los pro-nucleares no aparecen nunca (curioso), los costes del desconocido y mágico procedimiento para eliminar los residuos altamente cancerígenos que producen. Las centrales nucleares atacan directamente el ADN de todos los seres vivos. La araña mutante que picó a Spiderman y el increíble Hulk son buenos ejemplos.
- Ninguna compañía de seguros asegura centrales nucleares. Ningún banco concede dinero para construir centrales nucleares, porque no son rentables y dañan la imagen del banco por lo sucias que son y lo hartos que estamos todos de las putas centrales nucleares. El único negocio posible (solo para sus defensores) es "reabrir el debate" y obtener subvenciones públicas. Aquí los bancos pueden tener cierto interés, que será proporcional al "grado de debate"

que se consiga forzar. Así pues, ciudadano, cuanto mas debatas el asunto, mas beneficias a los bancos que te chupan la sangre a través de tu hipoteca, y mas perjudicas al planeta al que perteneces te guste o no. Y no solo al planeta: También a tus propios hijos y nietos.

Dejemos pues, que los franceses expelan sus residuos radiactivos al tercer mundo, no sin criticarles abierta y contundentemente. El tercer mundo nos rebotará el regalito en forma de refugiados-mutante-pobre-radiactivos, que con mucho gusto dejaremos cruzar nuestro territorio para que acudan en masa a solicitar ayuda médica imposible, a nuestros vecinos galos. Seguro que con esto, aumenta el PIB de todos: Nosotros les avituallaremos en su largo camino de retorno al origen del problema, con-sumo gusto.

A modo de remate final, y GOL (de los legales, de los que sube al marcador sin ningún genero de dudas), decir que con simplemente cambiar en España todas las bombillas incandescentes por otras de bajo consumo, es suficiente para jubilar definitivamente todas las pocas (por suerte) centrales nucleares que hay en funcionamiento en nuestro país, y alguna que otra central de petróleo o gas de principios del siglo XX.

Los números en que se basan todas estas afirmaciones contestables, pero incontestadas (¿por qué será?), están a disposición de todo el que quiera estudiarlos en las interesantes páginas web de crisisenergetica.org, o ecologistasenaccion.org.

A favor de las centrales nucleares, no obstante, hay algo bueno: No producen CO2. Vamos, como los paraguas, las antenas parabólicas, y los trajes de buzo, cosas estas, que tampoco producen energía que se sepa.

Pero nos hemos desviado (había que hacerlo una vez mas) del sub-tema: El hidrogeno.

Como sabemos en el agua hay hidrogeno y oxigeno. Si hacemos circular una corriente eléctrica, podemos separarlos: Es el proceso llamado "electrolisis". Una vez obtenido el hidrógeno, podemos volver a juntarlo con oxígeno y recuperar el agua y una parte de la electricidad (la otra parte, como siempre, es calor a la atmósfera).

Esto es un sistema cíclico que permite "almacenar la electricidad" en forma de hidrógeno. Por cada kilowatio-hora que metamos, sacamos algo de hidrogeno que se puede guardar para mañana, y luego volver a juntarlo con oxigeno, recuperando parte de la electricidad. El rendimiento no es total: No sacamos tanta electricidad como metimos, pero el caso es que es un buen sistema de almacenarla, con unas pocas perdidas.

El hidrogeno, por tanto, de cara al transporte eléctrico, es interesante puesto que pesa y ocupa poco. Puede llegar a ser un buen sustituto de las actuales baterías, sin duda hay que investigar mucho mas para ver si es útil o no. Sin

embargo, es importante recalcar que no es una fuente, sino un sistema de almacenaje de electricidad.

Los supuestos coches de hidrógeno, serían por tanto, coches eléctricos con “baterías de hidrógeno”. Es interesante porque si queremos hacer un coche eléctrico con baterías normales (las de litio son las mejores conocidas), resulta que tenemos que transportar cientos de kilos de peso en baterías, para tener una autonomía parecida a la de los coches de combustión.

La industria y los científicos que actualmente experimentan con este asunto, tienen seguro cosas que decir para el futuro a medio plazo, pero esto no resuelve el problema aquí y ahora. Y además al ser una tecnología patentada y complicada, asegura monopolios futuros para empresas privadas, que no nos interesan a nadie (excepto a ellos mismos, por supuesto).

Hay que volver a insistir en los dos principios básicos: Ahorro (eficiencia) y electricidad renovable.

3C.- Los coches híbridos

Los coches híbridos ya están entre nosotros. No son ninguna quimera científico-técnica (como la fusión nuclear o el hidrogeno), ni tampoco ninguna quimera energética (como los Bio-combustibles, o la energía nuclear de fisión), ni tampoco ninguna quimera económica: Existen, puede usted comprarse uno mañana mismo si tiene el dinero suficiente, y además ahorran combustible y polución.

El ahorro en combustible y polución no es muy grande, pero algo ayuda. Hay que insistir (no me cansaré) que donde mas ahorro y eficiencia hay, es en el sentido común, la incultura consumista, y las medidas políticas. En una palabra: Concienciación.

Pero a mismo nivel de concienciación, los vehículos híbridos transportan (personas y cosas), de una manera mas eficiente (energética y ambientalmente) que los de combustión.

Yo estos vehículos los veo como a medio camino de la revolución técnica (la revolución cultural es otra cosa muy distinta y mas lenta), que necesitamos poner en practica ya. Puesto que tienen dos motores (uno eléctrico y otro de combustión), tienen toda la autonomía que queremos. Las constantes arrancadas y paradas que hacemos en la conducción a diario, suponen un gasto enorme de gasolina. Un motor de combustión consume petróleo siempre que esté en marcha, aunque el vehículo esté parado. Sin embargo un motor eléctrico solo consume cuando el coche se mueve.

Otra de las ventajas del motor eléctrico, frente al de combustión es su rendimiento: Si hace unas decenas de párrafos hemos entendido que el motor de combustión (queme Bio o queme Fossil), es ineficiente, pues solo el 20% de lo que quemamos es convertido en movimiento, no sucede lo mismo con el motor eléctrico: Casi el 90% de la energía eléctrica que le suministramos se convierte en movimiento. Solo se pierde un inevitable 10% en calor.

Este es el punto en que estos coches nos empiezan a enseñar cual es el camino correcto (perdóneme, lector que insista tanto, pero recuerda una vez mas las "soluciones no-técnicas" o culturales, o políticas, o como quieras llamarlas), desde un punto de vista estrictamente técnico.

En la actualidad, los que se están fabricando y vendiendo, están orientados a la reducción del consumo en atasco (cosa frecuente en las grandes ciudades), pero ya empiezan a comercializarse otros que, reduciendo espacio en el maletero, aumentan el número de baterías y por tanto la autonomía en trayectos medianos y largos, y siempre con la eficiencia intrínseca del motor eléctrico: cerca del 90% de rendimiento.

El problema de los fabricantes, es que los coches eléctricos TOTALES con baterías, no son viables porque las baterías necesarias para tener suficiente autonomía pesan y ocupan mucho. Sin embargo unas pocas baterías si que sirven para el atasco de la ciudad: No se consumen cuando estamos parados, y permiten ahorrar energía en las constantes paradas y arranques.

Los híbridos llevan el motor eléctrico ya incorporado, y un miniordenador se encarga de cambiar de eléctrico a combustión (y viceversa) en función de varios parámetros, como la velocidad, la potencia, el consumo, la carga disponible de baterías, etc. Algunos llevan enchufe para cargarlos en casa, aunque también se cargan con el propio motor de combustión (un proceso mas eficiente puesto que se hace a un régimen de revoluciones optimizado). Además este motor de combustión en algunos modelos incorpora el cambio automático de marcha, de forma que el régimen de revoluciones siempre es el óptimo para gastar menos a igual potencia mecánica.

Son interesantes, pero sufren del problema que todos los vehículos eléctricos: El ser humano aun no ha descubierto un sistema para almacenar la electricidad en poco espacio y peso (el hidrogeno promete, pero no está disponible todavía y veremos cuanto tarda en estarlo).

¿Y porque hace falta almacenar y transportar la electricidad? ...

¿No sería mejor si pudiésemos cogerla de la propia carretera? ...

4.- Historia e inducción eléctricas

Amigo lector, ya casi estamos llegando a destino, pero antes un poquito de historia.

A finales del siglo XIX, los intelectuales y gentes de toda índole están asombrados de los prometedores y constantes inventos de los científicos y técnicos. Parece no haber límite a la imaginación y las invenciones. La revolución industrial es un hecho increíble e imparable, que promete abundancia de comodidades para todos, y un siglo después nos empieza a pasar factura a los bisnietos. La gente viaja en tranvía.

El tranvía es un autobús con motor eléctrico. Coge la energía eléctrica de dos polos (como una batería) uno situado en el suelo, y otro a media altura (unos 3 o 4 metros) en un tendido de cables aéreo. Parece que ya se ha resuelto el problema del transporte, por lo menos en las ciudades, aunque estas se llenen de cables a la altura de las ventanas del primer piso de las casas.

Las vías de tren eléctrico recorren distancias cada vez mayores. Aún siguen siendo así los trenes actuales. Es la era eléctrica. El auge de la civilización humana. La fábrica de invenciones de Edison es cada vez más alucinante, produciendo aparatos eléctricos ultra-variados: bombillas, fonógrafos, telégrafos, teléfonos, refrigeradores... Ciertamente es que no todo fue de Edison, pero es el que más jugo sacó del asunto en aquellos años. Por lo menos a nivel técnico.

Las fábricas prometen trabajo y algo de pan, los trabajadores prometen huelgas si todo queda para el patrón. Este consigue enfrentar al hombre contra la máquina y Chaplin nos lo deja grabado en los ojos. Se desenvuelve la revolución rusa que trata de poner en práctica las ideas comunistas de Carlos Marx, y aunque Lenin era un buen tipo, Stalin se convierte en el jefe de una dictadura supuestamente del proletariado. Del proletariado consanguíneo de Stalin finalmente y al bueno de Marx que le den dos duros. Ortega y Gasset nos muestra al hombre masa del futuro: Consumista, infantil, hedonista, sin memoria y caprichoso. Es, una vez más, la ley del mínimo esfuerzo.

Aparece en escena el motor de combustión. El señor Ford y sus seguidores se forran con el nuevo invento, Hitler y sus nazis de mierda, construyen una red de carreteras en Alemania y las primeras fábricas de Volkswagen escupen millones de copias del "coche del pueblo", alimentado con la sangre de judíos y verdaderos comunistas. El señor Rockefeller descubre la gallina de los huevos de oro: La distribución de gasolina. Adiós a los cables a la altura de las ventanas del primer piso.

Los acontecimientos posteriores son de sobra conocidos para los que hemos leído algo de historia de los avances técnicos del siglo XX. Las alucinantes creaciones de la mente humana han llegado a territorios inauditos: genética, tele-comunicaciones, nano-ciencia, guerra nuclear-fría (nada que ver con fusión

nuclear-fría), revolución industro-agrícola pintada de verde, física cuántica impensable, etc. Muchas de estas revoluciones técnicas fueron tan malas como las políticas. Otras no solo son malas, sino muy buenas sin duda.

La combinación de estas revoluciones técnicas ha producido seis mil millones de almas humanas, con ojos, nariz y boca cada una de ellas. La combinación de las revoluciones políticas produjo mas o menos cien millones de muertos. La cifra de muertos estable (de momento) que "hemos logrado" por motivos derivados de la política liberal es de unos 10 millones al año.

Cierto es que no todas estas revoluciones (técnicas y políticas) en cadena, que han cambiado drásticamente la vida del ser humano en todos los ordenes, son tan útiles, necesarias, o interesantes como otras. Si bien algunos personajes políticos fueron determinantes en el devenir del siglo XX, no menos cierto es que algunos personajes técnicos y económicos también lo fueron. Algunos incluso mas.

Personalmente, me quedo con el tranvía. ¿Porque desapareció el tranvía?... Buena pregunta. Yo lo atribuyo a un personaje concreto y su herencia: Rockefeller, un tipo listo: Un tipo CAPITA-LISTO. (En todos los sentidos de esta palabreja que se puedan pensar).

Rockefeller descubrió la madre de todas las gallinas de los huevos de oro: La distribución de gasolina en estaciones de servicio. El control del petróleo en unas pocas manos, vaya. Y también supo como convencernos de que los cables a la altura del primer piso eran feos y molestos, prometiendo una autonomía para vehículos de combustión, que hoy nos pasa factura económica-energética y ecológica, por no hablar de temas de salud.

No voy a hablar mucho de política en este documento, porque me hierve la sangre rápido, aunque si voy a aprovechar la oportunidad de decir a todos, que escuchen lo que dice Fidel Castro, no lo que dicen que dice. Escuchen (lean) a Fidel directamente, sin intermediarios. Se puede estar de acuerdo o no con él en el plano político. Se le puede detestar o amar profundamente. Pero escuchen lo que dice EN EL PLANO ENERGÉTICO.

A lo que vamos: El tranvía. El tranvía coge la electricidad del suelo y un tendido aéreo. Fue sepultado por el vehículo de combustión bajo tierra y hoy solo existe en las grandes ciudades, en forma de metro subterráneo.

Muchos conocemos los cochecitos de juguete del SCALEXTRIC. Hasta en un supuesto documento técnico (y de opinión como mandan los tiempos) como este, hay espacio para la publicidad. Estos cochecitos cogen la electricidad del suelo (la pista) directamente. No hay tendido aéreo.

Por lo tanto se puede pensar en un tipo de suelo que nos dé la electricidad directamente, sin necesidad de cables aéreos. Si lo encontramos, habremos resuelto los dos problemas a la vez: No necesitaremos pesadas y enormes baterías y tampoco tendremos tendidos aéreos feos y molestos. Al tiempo que

dejaremos de quemar hidrocarburos cada vez mas escasos y producir CO2 en cantidades irrespirables.

Podremos disfrutar del **grado de libertad** que nos concede la carretera exactamente igual que ahora, pero gastando mucha menos energía, ya que el motor eléctrico convierte el 90% de la que le llega en movimiento, contra el 20% del motor de combustión. Además dejaremos de contaminar.

La primera idea es poner barras de metal en el suelo: Las pares con el polo positivo, y las impares con el polo negativo. Unas escobillas convenientemente situadas en el vehículo cogerán la electricidad de aquellas. El primer y definitivo problema es: Nos podemos achicharrar si tocamos ambos polos a la vez con las manos o los pies. Un segundo problema puede ser que la gente se dedique a cargar el móvil, la PDA y la pleiesteision a partir de la electricidad distribuida de esta manera.

Independientemente de los posibles fraudes, el sistema es descartable (nuestros bisabuelos ya lo descartaron), por una cuestión de simple seguridad, relacionada con el sexo: Los enchufes con corriente deben ser hembras. Los que reciben la corriente deben ser machos. No es bueno que haya hembras eléctricas despatarradas por todas partes... ¿O sí?

5.- Como funciona el vehículo de inducción

En fin: No voy a seguir mucho rato mas por este camino interminable de ironías, chistes malos, comparaciones marcianas, reseñas históricas y puyas al capital. Existe otra forma de transmitir energía eléctrica a cortas distancias, sin contacto directo, y sin riesgo de achicharrarse: La inducción electromagnética.

La inducción electromagnética fue descubierta por Faraday y Oersted a mediados del siglo XVIII. En esencia dice que un campo magnético variable que atraviesa una espira conductora, genera una corriente en esta, cuyo valor es proporcional a la variación del flujo de campo magnético a su través y cuyo sentido es el de oponerse a el.

La inducción electromagnética se usa para todo tipo de inventos: se usa en el telégrafo, en el teléfono, en las agujas de los tocadiscos y cabezales de cintas de casete, en los altavoces, en los motores eléctricos, en las dinamos y alternadores, en los transformadores de corriente alterna, en discos duros de ordenador... Todos estos aparatos y usos se basan en el mismo principio: Una variación de campo magnético produce corriente eléctrica (y viceversa).

En la actualidad, la inducción también se usa en las llamadas "cocinas de inducción", que son muy ineficientes energéticamente, aunque cómodas. No es buena idea seguir usándolas, aunque se basen en el mismo principio que si es útil para muchas otras cosas.

También se usa la inducción para cargar sin cables bs marcapasos de las personas que tienen problemas cardiacos. Un cargador se aproxima a la piel del enfermo, cerca del lugar donde tiene alojado su marcapasos, y este coge la energía del cargador sin contacto directo: Por inducción.

Este es el principio que podemos usar para transmitir energía de la carretera al vehículo, sin contacto, ni roces, ni ataduras, ni chispas, ni peligro de electrocución, ni transportar (gastando energía) pesadas baterías para almacenar la electricidad. Y por supuesto sin contaminar el aire.

La manera concreta de conseguirlo es el estudio detallado del bien conocido "transformador de corriente alterna".

El transformador de corriente alterna, es un conjunto formado por dos bobinas de cable, (llamadas inductora e inducida), que no están en contacto directo, pero se encuentran enrolladas en un marco de hierro, que consigue que las líneas de campo magnético producidas en la inductora, se cierren todas (o casi todas) atravesando la inducida.

Si en la bobina inductora introducimos una corriente alterna, esta generará un campo magnético, cuyas líneas de fuerza tenderán a cerrarse a través del marco de hierro, atravesando la bobina inducida. Puesto que la corriente inductora es variable en el tiempo, el flujo de campo magnético a través de la bobina inducida es también variable en el tiempo, y por tanto genera una

corriente (también variable en el tiempo, y con la misma frecuencia) en la bobina inducida.

Este principio se usa (de ahí el nombre) para transformar el voltaje de las corrientes alternas. La relación entre el número de espiras de cada una de las dos bobinas, es la misma que la relación entre voltajes en una y otra. Así si la bobina inductora tiene 220 vueltas, y la inducida 5 vueltas, tenemos un transformador de 220 voltios, a 5 voltios.

El sistema es reversible. Este mismo transformador también sirve para convertir de 5 voltios a 220 voltios, sin mas que meter la corriente por la bobina con menos vueltas y sacarla por la que tiene mas vueltas (los papeles de inductor e inducido se intercambian).

Si cortamos con una sierra el marco de hierro que sirve para cerrar las líneas de campo magnético entre las dos bobinas, y separamos las dos bobinas (con su mitad del marco de hierro cada una) unos centímetros, entonces parte de las líneas del campo magnético inductor, se cerrarán directamente por el aire y otras por el marco del inducido, transmitiéndose una parte de la energía sin contacto, y perdiéndose otra parte.

Las perdidas de la transmisión de energía por este sistema, son proporcionales al cociente de distancia entre los dos marcos, dividida por la anchura de los mismos: Cuanto menos distancia entre mitades de marco, y mas anchura de marco, menos perdidas.

En el caso del vehículo de inducción, si la distancia entre el marco inductor (colocado en la carretera unos centímetros por debajo del asfalto) y el inducido (colocado en el suelo del vehículo eléctrico, es de unos 25 centímetros (suficiente para evitar roces y posibles piedras y chinas que choquen con el suelo del vehículo), mientras que el ancho del marco es del orden del ancho del vehículo (unos 150 centímetros), tendremos unas perdidas de $25/150=0.16$, es decir, un 16% de la energía (en forma de campo magnético) que emite la carretera se pierde, mientras el 84% restante la recibe y aprovecha el vehículo.

Existe otro problema adicional, que es fácilmente resoluble, que es, que evidentemente, la carretera no puede estar emitiendo energía constantemente, pues sería un derroche absurdo. Para solventar este problema, se divide la carretera en pequeños tramos de inducción. Solo los tramos inductores que tengan encima en un momento dado algún vehículo, deberán transmitir energía a este. El resto de la carretera no emite nada de energía, mientras no tenga ningún vehículo encima.

Esto es fácilmente conseguible por medio de un protocolo de envío de señales entre el vehículo y la carretera: El vehículo "pide energía" a los tramos inductores de la carretera sobre los que se encuentra en cada instante. Este protocolo puede hacerse por cualquier tipo de comunicación (infrarrojos, radiofrecuencia, etc), y puede incluir información de permisos, potencias necesarias, etc.

Este protocolo de comunicación vehículo-carretera, junto con las normalizaciones de máxima potencia permitida, voltaje y frecuencia del inductor y dimensiones del mismo, es lo que tienen que establecer las normas internacionales, para facilitar que cualquier vehículo eléctrico de inducción pueda ser fabricado de acuerdo a estas normas y coger directamente la energía de la carretera.

Respecto de la frecuencia, voltaje y tamaño del inductor, hay que pensar en los distintos tipos de vehículos posibles: Desde bicicletas hasta trailers, pasando por motos, utilitarios, furgonetas pequeñas y grandes, autobuses, camiones, excavadoras y maquinarias varias, etc.

6.- Rendimiento

Antes de estudiar el rendimiento de esta solución técnica para el transporte por carretera, hay que aprovechar (una vez más), para volver a insistir en las soluciones no-técnicas (políticas o culturales).

Recordemos:

Cada día se producen atascos monumentales en las entradas de las ciudades, de cientos de miles de vehículos con un solo ocupante. Esto es un derroche tremendo, que tiene dos soluciones: Unas políticas (promoción del transporte público universal, como por ejemplo los carnets de transporte que permiten usar diferentes medios colectivos para llegar a destino sin tener que pagar cada uno de ellos por separado, o como la construcción de carriles de alta ocupación), y otras culturales: a 70 kilómetros por hora hay la mitad de resistencia del aire que a 100 kilómetros por hora, es decir la mitad de consumo energético, pero no se tarda el doble en llegar, sino solo 1.42 veces más (raíz de 2). Por tanto podemos ir un poco más despacio y ahorrar mucha energía. Usar el transporte colectivo lo más posible es quizá la mejor de las medidas y está al alcance de todos.

Estas medidas político-culturales son las más importantes. Cualquier medida técnica, es inútil si no tomamos estas medidas político-culturales. Nuestra inercia consumista y derrochadora, solo puede cambiar de rumbo si todos nos concienciamos. Algunos de nuestros hábitos de consumo no son malos del todo (nos entretienen, o nos dan de comer entre unos y otros, y no perjudican a nadie), pero otros son nefastos: Quemar petróleo que ha tardado millones de años en formarse, para llevar a los niños al colegio en un ineficiente 4x4, es estúpido, sobre todo teniendo en cuenta que mucho del tiempo y la energía se perderán en el atasco.

Existen tantas posibilidades, opciones y soluciones, en este debate político-cultural, que hay para escribir uno o varios libros. Este debate es el más interesante (interés-ante), que podemos tener con nosotros mismos. Cualquier medida técnica para ahorrar energía y efecto invernadero es siempre mucho menos eficiente, que una buena concienciación social.

Pero al grano: ¿Que ventajas tiene el sistema de transporte por inducción y que inconvenientes?

Ya las hemos señalado al principio de este documento, pero vamos a repasarlas:

- Es compatible con el modelo actual de transporte por carretera: A los actuales vehículos de combustión no les afecta en absoluto si debajo de la carretera hay o no inductores electromagnéticos. Tampoco les afecta si el vehículo de delante o de detrás es de combustión o de inducción, puesto que ambos pueden tener las mismas características de potencia mecánica, independientemente del sistema energético que utilicen, y por tanto desarrollar las mismas velocidades para no molestarse entre sí.

- La transición hacia el objetivo de total electrificación del transporte es suave y gradual: No hace falta levantar las carreteras que acabamos de construir y electrificarlas. Simplemente debemos electrificar las nuevas que vayamos construyendo. Con el tiempo, las construidas recientemente, se habrán estropeado y habrá que mejorarlas, y será el momento de electrificarlas.

- No es necesario que los fabricantes de coches tiren su industria de motores de combustión a la basura, y la cambien por otra de motores eléctricos de la noche a la mañana. Pueden perfectamente ir incorporando los nuevos motores (que pesan y ocupan menos) de forma híbrida. Los coches actuales en circulación también pueden ser adaptados con cierta facilidad al nuevo modelo. Los talleres pueden hacer el cambio con bastante facilidad y un coste que no es demasiado alto. Hay medidas políticas como las subvenciones, que pueden ser interesantes, siempre que sirvan para todos y se concedan con sensatez.

- La misma progresividad de adaptación de carreteras y vehículos, es progresividad hacia un modelo totalmente sostenible en el tiempo. La gasolina que ahora quemamos en el atasco, se puede quemar igualmente en una central productora de electricidad, solo que con mucha mas eficiencia. Esto permitirá prolongar la vida del petróleo algunas décadas mas. Puesto que parece que estamos abocados a quemar todo el que haya, podemos hacerlo rápido y mal, o mas despacio y eficientemente, para darnos tiempo a crear las industrias de aprovechamiento de energías renovables (sol, viento, oleaje), que tampoco van a aparecer por arte de magia de la noche a la mañana, sino que requieren su tiempo, medido en décadas, y además son en gran medida dependientes (actualmente) de la energía que sacamos del petróleo.

- La misma progresividad de aprovechamiento energético, será también de reducción del efecto invernadero y otros problemas ambientales. Cuanto mas grado de electrificación del transporte por carretera logremos, menos CO2 y calor enviados a la atmósfera, que no sabe de fronteras: Si te tiras un pedo hoy, dentro de tres días estará difundido por todo el planeta. Aunque este tipo

de metáforas escatológicas no gusten a los bien-pensantes, no cabe duda de que explican con una imagen clara lo que pasa.

- Una vez que empieza a electrificarse el transporte por carretera, empiezan a surgir otras posibilidades harto interesantes para por ejemplo, reducir el número de accidentes, ya que se puede perfectamente controlar la potencia transmitida de la carretera al vehículo, para limitar la velocidad de este, sin multas, cámaras de vigilancia, policía, medidas de castigo, etc. Esto evidentemente no les va a gustar a los que corren como locos, con gran peligro para los demás, pero es que no siempre llueve a gusto de todos. En este sentido, llevo defendiendo desde hace años la idea de que las señales viarias deberían estar hechas para que las lean los coches, en lugar de para que las lean sus conductores, dado que el coche hará lo que se le diga, mientras el conductor, si se le permite, hará lo que le dé la gana, a veces con gran peligro para terceros.

- Una vez que se toma la decisión de electrificar las carreteras (tras un proceso de pruebas en circuito cerrado y de haber tomado las decisiones técnicas necesarias para normalizar la forma en que se haga), la transmisión de energía eléctrica a media y larga distancia (alta tensión), se puede hacer por debajo del suelo, aprovechando los propios trazados de las carreteras, y de hecho es lo mas eficiente económicamente (mucho mas que las actuales torres de alta tensión). Por tanto, las compañías de distribución eléctrica tienen muchísimo que decir en este ámbito, así como las compañías de obras públicas. Ambas deben trabajar de la mano, en lugar de como "mundos paralelos que no se conocen entre si, y cada uno va a lo suyo".

Ahora vamos con las posibles desventajas:

- Cambiar siempre es difícil: Cuando nos acostumbramos a una serie de hábitos (comer con mucha sal o mucho pan, carne o azucar, fumar o beber alcohol, ver tres horas de televisión al día, etc) nos cuesta mucho cambiar. Esto no es solo un problema: ES EL PROBLEMA.

La única solución es la concienciación, que tarda en conseguirse, pero se consigue insistiendo (de hecho hace solo un par de años, nadie había oído hablar de la crisis energética y hoy todos hemos oído algo).

- Sería exagerado decir que no sabemos los posibles efectos secundarios para la salud, que la electrificación de carreteras y el transporte por inducción podrían provocar. Si que sabemos muchas cosas: Tenemos infinidad de transformadores a nuestro alrededor, y no parece que esto nos afecte mucho. Los vehículos de inducción son simples transformadores en los que el inducido y el inductor están ligeramente separados entre si (uno bajo el asfalto, y el otro en el suelo del vehículo).

Desde luego este es un tema importante que hay que estudiar en profundidad. Por lo menos, tanto, como estudiar en profundidad en que medida los motores

de combustión afectan a las estadísticas de cáncer. No existe demasiada literatura sobre ninguno de los dos temas.

Las autoridades sanitarias, junto con los técnicos, deberían hacer pruebas exhaustivas para llegar a conclusiones científicas serias. El debate en la calle puede ser interesante, pero si no está basado en números experimentales, es un debate que solo genera aire caliente innecesario.

De momento, no se ha podido demostrar que un transformador de 100 caballos de vapor de potencia, sea perjudicial para quien esta cerca de él. Tampoco se ha podido demostrar lo contrario (que no es perjudicial). Una buena fuente de información sería estudiar los historiales médicos de los conductores de trenes... ¿Hay mas incidencia de algún tipo de enfermedad entre este colectivo, que entre el resto de la población?

Este es un problema médico, o una simple conjetura médica, que hay que estudiar a fondo. Quienes tienen que decir cosas, y sobre todo aportar datos experimentales, son los médicos.

Una vez descritos los inconvenientes y ventajas, vamos con el sencillo e inevitable tema del rendimiento energético. Sobre el rendimiento en reducción de efecto invernadero, ya hemos dicho que puede llegarse al nivel óptimo: Cero Patatero (como diría un famoso empleado de un conocido imperio televisivo yanqui).

Para comparar el rendimiento energético del modelo de transporte por carretera por combustión, con el modelo por inducción, vamos a situarnos en el futuro a largo plazo (todos los vehículos ya son de inducción), y lo compararemos con el presente (todos los vehículos son de combustión).

El motor de un vehículo de combustión tiene un rendimiento de conversión de energía de alrededor de un 20%. De la gasolina que quemamos, solo el 20% se convierte en movimiento.

El motor eléctrico tiene un rendimiento del 80%. De la electricidad que le demos, el 80% (o mas) se convierte en movimiento.

Si transmitimos la electricidad de la carretera al vehículo, por medio de inducción, perdemos un 20%. Esto hay que multiplicarlo por el rendimiento del 80% del motor eléctrico.

Las personas de a pie estamos acostumbrados a pensar en porcentajes, que es difícil ver como influyen unos en otros. Sin embargo, los matemáticos, científicos y técnicos, preferimos hablar de "coeficientes normalizados". Un coeficiente normalizado sería como un porcentaje, pero en lugar de estar entre 0 y 100, está entre 0 y 1. Es decir, es un número con decimales situado entre cero y uno.

Un 16% de porcentaje, por ejemplo, equivale a un coeficiente normalizado de 0.16

La ventaja de los coeficientes normalizados, frente a los porcentajes, es que los primeros se pueden multiplicar directamente entre sí, y el resultado es otro coeficiente normalizado.

Si del 100% (en coeficiente normalizado = 1) de energía, transmitimos correctamente al vehículo desde la carretera el 80% (en coeficiente normalizado = 0.8), y el motor del vehículo transforma esta electricidad en movimiento con una eficiencia del 80% (otro 0.8, en coeficiente normalizado), entonces el rendimiento total resultante sería:

$$0.8 * 0.8 = 0.64$$

Que es un coeficiente normalizado que equivale a un 64% en porcentaje.

Así vemos que la eficiencia del motor de combustión (20% ó 0.2) es mucho peor que la del sistema de inducción (64% ó 0.64). Es decir, más de tres veces más eficiente la inducción que la combustión.

Si simplemente, cambiásemos todos los coches de combustión por los de inducción, y quemásemos el petróleo de aquellos, en plantas eléctricas térmicas, para producir la electricidad de estos, nos duraría el petróleo tres veces más de lo que nos va a durar si seguimos como hasta ahora.

Pero hay tres cosas más a tener en cuenta, la primera mala y las dos siguientes buenas:

1- No todo el petróleo quemado en una planta térmica, se aprovecha para producir electricidad, aunque puede que se pueda aprovechar bastante más de la mitad. Digamos un 75% (en coeficiente normalizado = 0.75), que habría que multiplicar por el rendimiento del vehículo de inducción (0.64), para obtener el rendimiento total de este ciclo: petróleo, planta térmica, carretera, inducción y vehículo.

2- No hace falta quemar petróleo para producir electricidad: Esta se puede producir por procedimientos renovables variados.

3- El motor de combustión gasta incluso cuando estamos parados en un atasco, o en un semáforo. El de inducción solo cuando nos movemos.

Este tercer asunto, es de hecho la razón por la cual los fabricantes han desarrollado en los últimos años el vehículo híbrido, que insisto, es el que nos enseña el camino hacia una transición suave del modelo de transporte por carretera de combustión a inducción.

Insisto una vez más: A mayor grado de electrificación del transporte por carretera, mayor sostenibilidad de forma proporcional, y totalmente ajustable en el tiempo.

7.- Los costes

Este es el tema que les interesa a los economistas, políticos, gente de a pie, y actores industriales (eléctricas, petroleras, fabricantes de vehículos y empresas de obras públicas).

Lo primero que hay que advertir, es que evidentemente, a las petroleras este documento les escuece y mucho. Pero ya hemos advertido que ellas son "las malas de esta película", y que nunca llueve a gusto de todos.

Vamos a olvidarnos, así pues, un momento de los intereses de estas empresas, y pensar en el beneficio colectivo.

¿Y como afecta al resto de industrias la medida? Pues miremos cada una por separado, aunque se tengan que reunir y unificar criterios entre varias.

- Las eléctricas, estarán encantadas de comerse una parte (o mejor el todo) del pastel de las petroleras, que por otro lado, son accionistas de aquellas y proveedores. Aquí habrá una lucha encarnizada por el control de las decisiones, que habrá que observar detenidamente. Puesto que muchas eléctricas entre su accionariado y suministradores, tienen a las petroleras, estas últimas van a tratar de influenciar las decisiones de aquellas. Esta lucha será interesante, sin duda, pero mas con la opinión pública mirando.

- Las constructoras de carreteras, encantadas de la vida. Tendrán que conformar sus departamentos de electrificación normalizada, probablemente asociándose con parte de la industria electrónica y electrotécnica, para producir tanto los elementos inductores, como los elementos de comunicación de datos entre vehículo y carretera. Estas empresas de electrónica y electrotecnia tienen aquí un nuevo mercado con un potencial tremendo.

- Los fabricantes de vehículos, también se tendrán que asociar con la industria electrónica y de electrotecnia. Esto llevan haciéndolo décadas, de forma que se conocen bien unos a otros, y no hay ningún problema, porque todo son beneficios desde su particular punto de vista.

- La "nueva" industria electrotécnica y electrónica, encuentra un mercado potencial nuevo y vasto. Las presiones de la industria petrolífera serán fuertes, pero no lo suficiente para impedir que las nuevas empresas necesarias proliferen como setas, ante el nuevo "el dorado".

- Las empresas fabricantes de aparatos de producción de energía renovable, llevan ya bastantes años creciendo como la espuma. En los próximos años, vamos a oír hablar y mucho, de concentración solar, oleaje, mareas, cogeneración, distribución eléctrica inteligente para optimización del consumo local, y un sin fin de temas relacionados con la electricidad renovable.

- Los Semi-Dioses-Humanos que supuestamente hemos elegido para que decidan por nosotros, (a menudo llamados "políticos" para resumir), son los que tienen la llave del asunto. Pueden llevarnos a la ruina civilizatoria o a la

sostenibilidad, con una simple decisión. Sin embargo, aquí importa (y mucho) la estadística. Puede que al principio de este nuevo debate algunos SDHQSHEPADPN a sueldo de las petroleras, se opongan a este cambio de modelo de transporte por carretera. Pero algunos no se venderán, y al final lo más probable (por el bien de todos), es que el sistema de inducción triunfe.

- Los ecologistas estarán divididos entre los que aboguen por el decrecimiento y los que aboguen por la sustentabilidad. En realidad no existe ninguna contradicción entre ambos: Solamente es una discusión de cuanto decrecimiento y cuanta sustentabilidad. El debate es tremendo, y tendremos que escuchar y aprender un nuevo lenguaje sobre este punto. Al final el ecologista medio dirá que un 75% de decrecimiento, y un 25% de sustentabilidad, más o menos. En cualquier caso esto es lo que yo defiendo, de forma totalmente discutible, por supuesto.

- El público en general, tendrá la opción de elegir entre un coche de combustión, un coche de inducción, o un híbrido. Cualquiera de los tres le brindará el mismo servicio, pero es de esperar que los dos últimos estén más subvencionados. Yo le diría, si es que me escucha, que use menos el coche privado y use más el transporte colectivo, pero cada cual es cada cual.

Pero vamos otra vez al grano (las elipses que hay que hacer para evitar malas interpretaciones, o suposiciones erróneas, son enormes en este tema delicado): Los costes.

¿Cuanto cuesta (económicamente y energéticamente) hacer carreteras aptas para vehículos de inducción?

Es una buena pregunta, trataré de responderla. En la actualidad, en España, construir un metro de carretera terminada, cuesta unos 6.000 euros. Esto incluye desde los estudios iniciales, hasta el corte de cinta de los SDHQSHEPADPN ante las cámaras de televisión, pasando por la ingeniería, la excavación, el rellenado, el drenaje, el alisado, cementado, asfaltado, pintado y señalización.

A este coste de 6.000 euros/metro, habrá que añadirle la electrificación para inducción. Esto implica canalización paralela de los cables (tubos y arquetas de registro), la fabricación y transporte de los elementos inductores y de recepción de señales vehículo-carretera, su instalación en la propia carretera entre los pasos de cementado y asfaltado, y su conexión con la red de suministro eléctrico.

Yo he estimado (puedo equivocarme) que el coste total de estos nuevos aparatos y su instalación, no debe ser superior a los 60 euros/metro. Vamos a suponer que me equivoco mucho, y que en realidad cuesta 10 veces más: 600 euros.

Esto nos dejaría en el peor de los casos, un 10% de incremento de costes en la electrificación, respecto de los 6.000 euros/metro que cuesta ahora. Aún así no me equivoco demasiado a menudo, (aunque a veces si, por supuesto) y es muy posible que sea bastante menor.

Desde luego este coste es perfectamente asumible.

Respecto del coste energético, implica la fabricación de los elementos inductores, cobre (o aluminio) y hierro principalmente, que son totalmente reciclables con simple proceso de fundición e hilado, su mecanización (principalmente arrollamiento del hilo de cobre sobre el hierro), su transporte e instalación (no son demasiado pesados, en comparación por ejemplo con el transporte del asfalto, digamos que del mismo orden de magnitud), y la fabricación de los elementos electrónicos de comunicación vehículo-carretera (muy poco pesados y que energéticamente dependen mucho del diseño y se pueden optimizar hasta niveles increíbles).

Puesto que el sistema de inducción requiere gran cantidad de bobinado, y que el cobre es hasta tres veces mas caro y escaso que el aluminio, puede ser interesante estudiar los bobinados (tanto de inductor como de inducido) basados en aluminio. El aluminio tiene mas resistividad que el cobre, pero es el tercer mejor elemento conductor (por detrás de la plata, demasiado escasa y cara, y el cobre, también caro y escaso). El problema del aluminio es que no suelda bien con estaño, que es el elemento mas usado en las juntas y soldaduras de cobre, relativamente barato, y muy buen conductor también.

Otro asunto es, qué cantidad de elementos inductores hay que disponer en la carretera. Esto viene limitado por la potencia máxima que cada elemento inductor puede transmitir. No es lo mismo mover un camión o un autobús, que una motocicleta, de forma que los elementos inductores (y su número y distribución) deben ser capaces de alimentar todo el rango de vehículos. Este asunto será tratado en mas detalle en el siguiente punto, algo más técnico, pero fácilmente entendible por todos.

En una estimación a ojímetro de todos estos procesos energéticos, afirmo que no se consume ni la tercera parte de energía adicional, que la de la construcción de la parte de obra, descrita anteriormente. Esto es tirando por el camino mas pesimista. Probablemente se pueda conseguir que el coste adicional energético (traducido a materiales, vaya), de una carretera de inducción sea solo un sobre coste del 5% o el 10% de lo que cuesta (energéticamente) una carretera normal, sin afinar demasiado. Recordemos que construir carreteras normales ya es de por si un esfuerzo energético tremendo, y por tanto agregarles un elemento mas, con un coste energético del mismo orden de magnitud que las señales de trafico, no es agregar gran coste energético.

Puedo equivocarme, pero es que no existen este tipo de estudios energéticos en la literatura. Me estoy refiriendo a los costes energéticos derivados de la fabricación de hilo conductor (necesario para bobinas inductoras e inducidas), y su mecanizado (bobinado) para construir dichos elementos.

Ahora empiezan a encontrarse estos informes en la literatura científico-técnico-ambiental, pero de momento son aproximaciones, pues el estudio de todo el ciclo de los diversos procesos industriales implicados, no es conocido mas que de forma fraccionada, según los diferentes sectores (minería, mecanizado, bobinado, reciclaje, etc) implicados.

Por otro lado, tampoco existen informes sobre el consumo energético de la propia construcción de una carretera normal, apta solo para transporte de combustión, aunque aquí los sectores implicados son menos en número y variedad, de forma que obtener dichos informes (o estudios), es probablemente mas fácil.

La urgente necesidad de contar con dichos informes cuanto antes, y de establecer una serie de protocolos estandarizados para su realización, es una de las prioridades absolutas en los momentos actuales.

8.- Primer esbozo de la parte técnica

Si suponemos que un camión (o un autobús) necesita una potencia de 400 caballos de vapor, que equivalen a 300 kilowatios, y que el camión se mueve a 100 Km/h (27 metros por segundo), entonces recorre un metro (que es el orden de tamaño aproximado que tendrá un elemento inductor), en aproximadamente la tercera parte de una décima de segundo. En este tiempo (unas 3 centésimas de segundo), el elemento inductor ha de transmitirle toda la energía necesaria al vehículo para llegar hasta el siguiente elemento inductor.

Es evidente que el vehículo de inducción debe tener unas pocas baterías para disponer de autonomía suficiente, para digamos uno o dos kilómetros sin recibir energía de la carretera. En los primeros momentos del cambio tecnológico, los vehículos deberán ser híbridos puesto que las carreteras con capacidad de gestionar el tráfico de inducción tardaran años en cubrir toda la red. En estos años de cambio, algunas estarán disponibles pronto y otras mas tarde, de forma que el cambio a modelo de inducción implica un periodo transitorio de vehículos híbridos.

Las baterías de los vehículos híbridos, y su capacidad de carga (así como su tiempo de carga), están estrechamente relacionadas con la distancia entre elementos inductores instalados en la carretera. Puesto que un elemento inductor solo transmite energía en el instante mismo en que el vehículo se encuentra encima, y este tiempo es del orden de tres centésimas de segundo, la velocidad de carga de las baterías debe ser suficientemente rápida para recoger esta energía en dicho tiempo.

Existe una solución simple para obtener este efecto, pero no es interesante desde el punto de vista material: Situar inductores de forma continua a lo largo de toda la carretera, sin espacios vacios entre ellos. Este sistema permite entregar la energía al vehículo según este demande, de forma constante. Sin embargo tiene el inconveniente del elevado coste en material (cobre caro o aluminio menos caro), necesario para los inductores de la carretera.

Es mucho mas eficiente disponer los inductores separados una cierta distancia entre si en la carretera, de forma que se pueda entregar la energía en un instante de forma rápida al vehículo, y capacitar a este para almacenarla en dicho instante.

No existen baterías de carga tan rápida como necesitamos, pero esto no es un problema.

Esto puede lograrse por medio de elementos condensadores (de gran rapidez de carga) instalados en el vehículo. La cantidad, capacidad y tiempo de carga de estos condensadores, así como sus dimensiones y peso, forman parte de la literatura técnica electrónica. Su capacidad de carga (tanto en tiempo necesario para la carga, como en cantidad de energía cargada) nos impone un limite en la distancia mínima que debe haber entre inductores situados en la carretera.

Si el tiempo de "contacto" entre el inductor y el inducido es de tres centésimas de segundo, el vehículo debe contar con condensadores que en este tiempo capten la energía suficiente para llegar (por lo menos) al siguiente elemento inductor. Todo lo que le sobre a dicho condensador irá a cargar las baterías de autonomía media (unos pocos kilómetros), que son mucho mas capaces, aunque mas lentas en su carga.

Si llamamos:

D = Distancia entre inductores

L = Longitud de cada elemento inductor

TC = Tiempo de contacto entre inducido e inductor

V = Velocidad del vehículo

TI = Tiempo necesario (a velocidad V) para llegar al siguiente inductor

P = Potencia necesaria para alimentar el vehículo

PI = Potencia del elemento inductor

EC = Energía máxima de un contacto

Tendríamos las siguientes relaciones obtenidas de las fórmulas elementales de la mecánica clásica:

$$TC = L / V$$

$$TI = D / V$$

EC = P * TI (Energía consumida por el vehiculo en su tránsito entre dos inductores)

$$PI = EC / TC$$

Pero como TI/TC = D/L tendremos que la necesaria potencia del inductor es:

$$PI = P * TI/TC = P * D/L$$

Que no depende de la velocidad del vehículo, sino solo de la potencia de este, y de la proporción de distancia entre inductores y tamaño de cada inductor individual.

Esta fórmula nos permite calcular la potencia requerida para los elementos inductores, en función de la potencia del vehículo mas pesado que queramos alimentar, así como del tamaño del elemento inductor y de la distancia entre inductores.

En el caso de una carretera llena completamente de inductores, este cociente D/L es la unidad, y la potencia del inductor es igual a la potencia del vehículo mas pesado.

Por cuestiones de coste de construcción de los elementos inductores de la carretera interesa ampliar D y disminuir L, lo que nos dice que tenemos que

ampliar al máximo posible la potencia de cada elemento inductor, para poder alimentar al vehículo mas pesado.

Nota importante: Estoy usando el término "alimentar", porque es el que se usa comúnmente en electrotecnia. Nada que ver con alimentar coches con Biodiesel, que podría servir para alimentar personas y animales. Recordemos que nosotros no podemos alimentarnos con electricidad.

Una buena manera de aproximarse al asunto es suponer que el cociente D/L es del orden de 10 o 100 (por ejemplo, un inductor de un metro de longitud cada 10 o 100 metros de distancia inter-inductores).

Esta potencia del inductor está limitada por las características de corriente, voltaje y frecuencia de la electricidad que alimenta a los conductores. Puesto que el orden de magnitud del tiempo de contacto es alrededor de tres centésimas de segundo, la frecuencia típica de la distribución eléctrica normal (50-60 Hz) no es muy buena para este uso.

Hay que ampliarla por lo menos al doble para que al menos un par o mas de ciclos completos de corriente alterna tengan lugar en el reducido tiempo de contacto. Quizá sea interesante incluso cuadruplicar la frecuencia, que recordemos, influye en la variación del flujo de campo magnético.

Esto implica una transformación de la corriente natural (220 V, 50 Hz) a por lo menos 100 o 200 Hz. Por tanto hace falta algún tipo de mecanismo oscilador con pocas pérdidas y gran capacidad de carga para obtener las características eléctricas óptimas.

En cuanto a la potencia eléctrica (voltaje por intensidad) si conservamos el voltaje a 220 voltios, y necesitamos entregar 3000 Kilowatios (para un cociente D/L del orden de 10), la intensidad de corriente seria del orden de decenas de miles de amperios, lo cual es inmanejable materialmente, pues no hay conductor barato que resista estos amperios.

Ampliando convenientemente el voltaje (pongamos por ejemplo, 100 veces mas, es decir, 20000 voltios), la intensidad se reduce a algo mas manejable: 150 amperios.

Todas estas consideraciones nos llevan a un modelo de transmisión energética por inducción de medio-alto voltaje y mayor frecuencia que el estándar 220 V 50 Hz, solo que en descargas de muy corta duración. Esto implica bobinado de los inductores con cable de gran espesor.

En el lado del inducido (vehículo), debemos encontrar un sistema de recibir y almacenar eficientemente estas descargas casi instantáneas pero bastante potentes. Para una distancia D entre inductores de 10 metros, con una longitud de cada inductor de 1 metro, los julios que hay que entregar y almacenar son del orden de 3 millones de julios en cada contacto como máximo (para mover un autobús lleno de pasajeros).

La energía que almacena un condensador está relacionada con su capacidad según la fórmula:

$E = C \cdot V^2 / 2$ Siendo C la capacidad y V el voltaje entre sus placas. Si suponemos que el voltaje es el mismo entregado por el inductor y que este tiene una relación de espiras diez veces menor a la del inductor, entonces el voltaje en el inducido es de 2000 voltios, y tenemos:

$$C = 2 \cdot E / V^2 = 6/4 = 1.5 \text{ faradios (a 2000 voltios)}$$

Este es sin duda un gran condensador, de hecho no se si existe en el mercado, aunque su capacidad es conseguible juntando varios mas pequeños, pero recordemos que este es el condensador que debería tener un gran camión de inducción (con una potencia mecánica de 400 caballos de vapor), si la carretera esta construida con 1 elemento inductor cada 10 metros, y además el camión esta circulando todo el tiempo a máxima potencia.

Este es, por tanto, un caso extremo y nada corriente: La mayor parte de las transmisiones energéticas por inducción que ocurrirán serán destinadas a vehículos 4 o 5 veces menos potentes, y que por supuesto, no van todo el rato con el acelerador pisado al máximo.

Se pueden obtener este tipo de condensadores grandes, por medio de bancos de condensadores mas pequeños conectados de forma especial (mezclando serie y paralelo), el tamaño aproximado de este banco de condensadores sería del orden de entre 15 y 30 litros en volumen, lo cual para un camión o autobús, no es demasiado espacio desaprovechado. Los vehículos mas pequeños no necesitarían captar tanta energía en el tiempo de contacto, y por lo tanto con un condensador mas pequeño sería suficiente.

La ventaja del uso de condensadores en los vehículos, además de que permiten obtener la energía del inductor de la carretera en contactos muy cortos de tiempo, es que son limpios y pesan poco, aunque ocupen bastante.

Para un coche de unos 100 caballos de vapor de potencia, el tamaño del condensador es tres veces inferior: Del orden de 5 o 10 litros.

El condensador, evidentemente, debe ir compensado con baterías para tener una autonomía de unos pocos kilómetros, que admiten mucha mas capacidad, aunque tardan mucho mas tiempo en cargarse que los condensadores, pero cuyo volumen y peso es menor. Estos son solo necesarios para reducir el tiempo de carga al mínimo posible y garantizar una transferencia energética entre el inductor de la carretera y el vehículo, de alta potencia (nivel de energía normal, pero en muy poco tiempo).

Estos condensadores, son solo necesarios recordemos, por este hecho: Interesa construir las carreteras aptas para transporte por inducción, con el mínimo coste tanto energético, como de materiales, lo cual se traduce en menos elementos inductores por kilómetro de carretera.

Estas estimaciones son solo una primera aproximación. El asunto de la normalización de carreteras para transporte por inducción, debe en la medida de lo posible llegar a consensos sobre todas estas magnitudes, de cara a reducir costes de implementación, ahorrar energía y asegurar que cualquier vehículo de inducción pueda aprovecharla de forma óptima.

9.- Conclusiones

Una vez mas, hay que volver a la cantinela de siempre: Medidas políticas y culturales primero, medidas técnicas después. No nos cansemos de repetirlo.

En cuanto al estudio técnico muy básico, que en este documento he tratado honradamente de desarrollar (sin el mas mínimo interés de lucro personal, pues no participo ni directa ni indirectamente, en ninguna de las industrias implicadas, solo soy un programador informático autónomo que desarrolla software principalmente de comunicaciones y gestión administrativa), podemos extraer algunas conclusiones bastante aproximadas a la realidad:

1.- La carretera no cuesta mas (económicamente) que el 110% de lo que cuesta una carretera solo apta para combustión. Con los precios de materiales actuales. Es decir solo un 10% mas, en el peor de los casos contemplados.

2.- El coste energético (no económico), es como mucho, el 133% de lo que cuesta una carretera de solo combustión. Basándome en estimaciones propias de los ciclos energéticos de todas las industrias implicadas, que desde luego, conviene afinar mas, pero no me corresponde a mi hacerlo, porque no tengo acceso a los datos.

3.- El coste económico de fabricación de vehículos (que no tiene ninguna importancia, puesto que en el modelo de transporte actual, contra el que decididamente me sitúo, se supone que los vehículos son privados y la carretera pública) no será incrementado, sino quizá disminuido, pero esto lo veremos según los vehículos híbridos vayan apareciendo en el mercado.

Esto esta cambiando recientemente (siempre hubo vehículos públicos, por los que yo siempre he apostado como vía de futuro, y ahora empieza a haber carreteras privadas), pero el asunto de la titularidad no tiene nada que ver con si es eficiente energéticamente o no, transitar hacia un modelo de transporte por inducción.

Todos los números indican que si lo es.

Es técnicamente factible, económicamente viable, energéticamente mejor que el sistema actual y compatible con él, permite una profundización y adaptación progresiva al nuevo modelo partiendo del actual, y es mas respetuoso con el medio ambiente, pudiendo llegar finalmente a un sistema de transporte totalmente sostenible, si la energía eléctrica empleada se produce a partir de fuentes naturales renovables.

Si hoy podemos mantener un sistema de transporte por carretera basado en la combustión, entonces podemos mantener un sistema de transporte por carretera basado en la inducción.

Sobre lo segundo no me cabe ninguna duda.