

FÉLIX YNDURAIN MUÑOZ
Catedrático de Física de la Materia Condensada de la
Universidad Autónoma de Madrid

EL PAPEL DE LA TECNOLOGÍA EN LA
ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

22 de junio de 2009





EL DIRECTOR

DE LA REAL SOCIEDAD ECONOMICA DE AMIGOS DEL PAIS

Se complace en invitarle a la conferencia que se celebrará el día 2 de junio, a las 19:00 horas en el Centro Cultural, Plaza de Tetuán 23, a cargo de:

D. Félix Yndurain Muñoz

Catedrático de Física de la Materia Condensada de la Universidad Autónoma de Madrid

Sobre el tema: **“El papel de la Tecnología en las Alternativas Energéticas”**

Colabora: **Bancaja** 

<http://www.rseapv.org>

Valencia, junio de 2009

PREÁMBULO

Santiago L. del Agua

La Económica. Luces y Sombras

El título de la conferencia que propone la Sociedad Económica de Amigos del País “El papel de la Tecnología en las Alternativas Energéticas”, habla de uno de los desafíos fundamentales de la Humanidad, la energía, pero también del método para enfrentarlo: la tecnología, entendida como la aplicación práctica del conocimiento... y además, de alternativas. De las alternativas que pone a nuestra disposición ese conocimiento. Y si hay alternativas, puede haber libertad de elegir... y riesgo. Riesgo que nos obligará a un análisis de costos en el más amplio de los sentidos que se le pueda dar a este concepto: económicos, sociales, políticos....

El extraordinario desarrollo de la especie humana no habría sido posible sin el desarrollo previo de las tecnologías adecuadas para el control y la puesta a disposición de diversas fuentes de energía a lo largo del tiempo.

Pero, el desafío energético actual que, fundamentalmente, supone una encrucijada en el proceso de crecimiento de las sociedades “avanzadas” y, además, puede ser percibido de forma dramática en las poblaciones que no se han incorporado plenamente a las ventajas del modo de vida de aquellas, tiene un carácter extraordinariamente problemático por la diversidad de aspectos de la vida y de la convivencia de las personas que afecta; no sólo la ciencia, también la economía, la política, la geopolítica...

Se trata pues de dilucidar “alternativas” que son no sólo energéticas, sino de posibilidades de futuro para las sociedades humanas, razón por la que la Económica considera de gran inte-

res ofrecer a los ciudadanos las ideas que, para este debate, puede aportar la autorizada visión de uno de los principales investigadores físicos de nuestro país, pero también gran conocedor de las otras dimensiones del problema energético desde la perspectiva institucional que le proporcionó el desarrollo de su responsabilidad como Director del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) del Ministerio de Ciencia y Tecnología (que hoy es una de las instituciones de investigación más importantes de Europa) y otros elementos de su “currículum” que se reproduce sucintamente más abajo.

El ponente **D. Félix Yndurain Muñoz**, *Catedrático de Física de la Materia Condensada de la Universidad Autónoma de Madrid*. (Zaragoza, 1946), es Licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad de Zaragoza y Doctor en Ciencias Físicas por la Universidad Autónoma de Madrid.

El Profesor Yndurain, como se ha indicado, es uno de los más importantes investigadores con que cuenta la física española en la actualidad. Los campos principales de su atención han sido la Teoría de Física de la Materia Condensada, sobre todo Semiconductores, Física de Superficies y Superconductores. Propiedades Ópticas, Electrónicas y Magnéticas.

Esta actividad investigadora ha tenido un amplio periplo internacional, a través de instituciones como la Universidad de Cambridge (Reino Unido), la Universidad de California en Berkeley (EEUU), el MIT (Massachusetts Institute of Technology), el Centro de Investigación Xerox en Palo Alto (EEUU), la Universidad Simón Bolívar (Venezuela), el Centro de Investigación T.J. Watson de IBM en Yorktown Heights (EEUU), el Instituto Max-Planck en Stuttgart (Alemania), la Universidad de Paris Sur en Orsay (Francia), etc.

Ha publicado más de 100 artículos en revistas de investigación internacionales relacionados con sus campos de investigación (Physical Review, Physical Review Letters, Surface Science, etc.), pero también de las tecnologías relacionadas con la energía.

A su extenso bagaje investigador une también una impor-

tante experiencia institucional al haber desempeñado la responsabilidad de Director del CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas del Ministerio de Ciencia y Tecnología), habiendo sido, también, Director de Política Científica en dicho Ministerio.

Presentará al conferenciante **D. José Adolfo de Azcárraga**, *Catedrático de Física Teórica de la Universidad de Valencia y miembro del IFIC (CSIC-UVEG)*. El Sr. de Azcárraga es socio de la RSEAP que ha colaborado de manera muy directa en la organización de esta actividad de la Económica.



Los ponentes, D^a. Carmina Cañellas, D^a Angels Martínez Bonafé y D. Xosé Manuel Souto, con el moderador, D. Rafael Cuesta y el Director de la RSEAP, D. Francisco Oltra, en la “Salita de la Entidad Fundadora” del Centro Cultural Bancaja.



La mesa de la conferencia estuvo presidida por el Director de la RSEAP, y el Sr. Cuesta García presentó la mesa redonda y moderó el debate posterior a la misma.

EL PAPEL DE LA TECNOLOGÍA EN LAS ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

Félix Yndurain Muñoz

Catedrático de Física de la Materia Condensada de la Universidad Autónoma de Madrid

Muchas gracias José Adolfo por la presentación. Evidentemente, cuando uno oye estas presentaciones, se da cuenta que tiene amigos y que se va haciendo viejo.

Yo no soy un experto en energía en el sentido de que yo no trabajo la energía, pero siempre me ha interesado mucho, y dirigí durante seis años un centro de investigación, el CIEMAT, que trata todas las energías. Esto ha hecho que esté cercano al problema, y sean de mi interés como ha dicho el profesor Azcárraga. Por lo tanto lo que yo voy hacer esta tarde, es poner encima de la mesa una serie de datos que considero relevantes, y entiendo que la audiencia, que es lo suficientemente inteligente como para hacerse una composición, va a ver una especie de película de muchas cosas. No voy a profundizar en nada, y muchas de las cosas que voy a contar aquí en distintos campos, podrían ser motivo de una charla entera que sí tendría que ser dada por un especialista. Esta presentación es un compendio de distintas informaciones de muchas cosas, por lo tanto, voy a ver si soy capaz de transmitir cual son mis pensamientos en relación con la energía.

Este es aproximadamente el índice que voy a seguir: primero, hay unos pocos datos del consumo de la energía, luego hay que decir algo del medio ambiente aunque por supuesto no voy a entrar en profundidad, hablaré muy poquito del petróleo, porque es un tema evidentemente clave si se habla de energía, y de

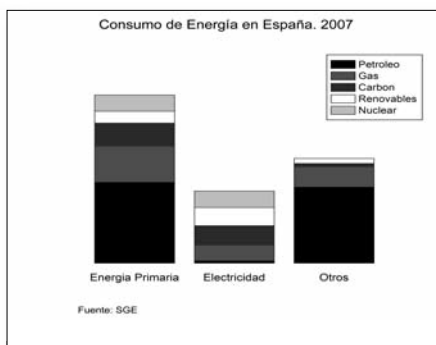
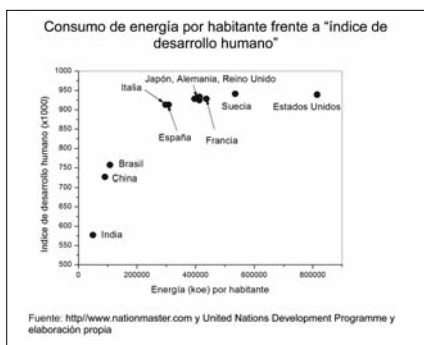
las centrales nucleares, y ahí aparecerán inmediatamente necesidades tecnológicas de cara al futuro; eso nos llevará a qué es lo que pienso yo que hay que hacer, y qué es lo que he visto en otros sitios que dicen que hay que hacer, en relación con la investigación y el desarrollo de la energía, luego hablaremos de distintas fuentes de energía, si hay alguna nueva como la fusión, la fisión, o renovables, la eficiencia energética que es un tema extraordinariamente importante, y finalmente el papel del carbón que veremos es clave, aunque muchas veces no se hable de él, y luego tendremos algunas conclusiones.

El consumo de energía

En consumo de energía, lo primero que hay que ver es que consumimos una cantidad de energía tremenda, a lo largo de los años. Desde el año 1850 el consumo de energía está aumentado de una manera disparatada, y ese consumo se puede correlacionar directamente con el número de habitantes, que está continuamente creciendo. El consumo es la suma de las distintas fuentes de energía, las energía primarias y secundarias, pero el punto importante del que hay que darse cuenta es que el consumo mundial de energía aumenta y seguirá aumentando en los próximos años, en los distintos países. Las energías de combustibles fósiles, son las más contaminantes, aunque luego hablaremos algo más de eso, y observamos que EE.UU. es el país que más consume per cápita, mientras que China, la India y Brasil, consumen mucho menos. También se puede comprobar que hay una correlación directa entre lo que se consume, la energía y el PIB, pero la energía no produce la felicidad, como se puede ver, si representamos el consumo de energía por habitante frente al índice de desarrollo humano, definido como queramos: escuelas, alfabetización, sanidad, etc. En un gráfico observaríamos que a partir de un cierto consumo, por ejemplo el de España o Italia, la curva se satura, y un consumo mayor de energía no contribuye a un mayor bienestar es decir lo que está claro es que desde este punto de vista se está desperdiciando energía. Así pues, en España también se podría hacer una disminución del consumo.

Un caso muy interesante, es el de California. California es

un Estado abanderado en muchos temas progresistas tales como el caso de la energía limpia y consumo de energía. En California el consumo de electricidad, es decir los kilowatios por hora per cápita ha permanecido estable entre 1975 y 2005, mientras que el resto de EE.UU. ha aumentado su consumo eléctrico. El crecimiento económico en California, ha sido mucho más alto que en el resto de EE.UU. lo cual indica una mayor eficiencia energética en California que en el resto de EE.UU. Y queda mucho por hacer todavía.



La energía primaria que se consume en España (Secretaría General de la Energía) es petróleo, gas, carbón, renovables y nuclear, y casi el 50% de la energía primaria que consumimos en España la consumimos a partir del petróleo que como sabéis está importado al 99,9 %. La electricidad la podemos producir de muchas maneras: con gas, con carbón, con renovables o con nuclear. La industria está más o menos distribuida entre las distintas fuentes de energía. La residencial y servicios está entre el carbón, la electricidad y el gas y el transporte depende mayoritariamente del petróleo.

El mensaje es: Hay variadas maneras de producir electricidad, a uno le puede gustar unas más que otras, pero para el transporte por el momento lo único que tenemos es el petróleo. Si uno mira las tecnologías que tenemos actualmente, las necesidades de energía que se esperan para los próximos años, el aumento de población y algo tan importante como la entra-

da de China y la India en el mundo desarrollado, además de las distintas fuentes de energía tradicionales, la biomasa tradicional, el carbón, el petróleo y el gas, cuando llegemos al año 2020 muchas todas estas necesidades habrá que cubrirlas de otra manera a cómo las cubrimos ahora. Es decir, habrá necesidades de nuevas tecnologías, pero basadas en todas estas fuentes que ya conocemos. Lo que se piensa y yo estoy de acuerdo, es que habrá pocas sorpresas de encontrar nuevas fuentes de energía. Desengañémonos, cuando alguien dice que está investigando en energía o está trabajando en la energía y cosas de estas. Nadie está pensando en nuevas fuentes, las fuentes que hay, son las que son, y muy raras tienen que ser las cosas para que aparezcan nuevas fuentes de energía. Lo que tenemos que hacer es utilizar la tecnología para que las fuentes primarias que tenemos, las utilicemos mejor.

Las tecnologías energéticas que utilizamos, son viejas, son muy viejas, lo que pasa es que han evolucionado mucho, por ejemplo, la máquina de vapor, ya no la usamos desde el año 1769; el motor eléctrico que seguimos usando, es el motor eléctrico de Siemens de 1866, claro el motor eléctrico de hoy no es el de Siemens, la tecnología ha hecho que esos motores sean más eficientes, más ligeros, etc. Las plantas de carbón, son muy antiguas, el motor de explosión, los coches, los coches que usamos ahora, no son los coches de finales del siglo XIX; el motor de explosión ha mejorado, etc. pero no son cosas conceptualmente nuevas, ahora estamos pensando ya en cosas distintas, como los coches eléctricos, pero todavía todos los que estamos aquí, me imagino, usamos motores de explosión. La pila combustible, esto de lo que tanto se habla, el hidrógeno, las pilas de combustible, que no son contaminantes, son más viejas que el tebeo, 1843. La lámpara incandescente que seguimos usando desde el año 1879, todo esto son cosas que unos señores descubrieron hace más de 100 años. La batería eléctrica Volta, las baterías, tema muy importante, se descubrieron hace muchísimos años, lo que se está haciendo ahora es mejorar su rendimiento. El efecto fotoeléctrico que está relacionado con la energía solar fotovoltaica, desde Einstein en 1905 y así todas. Es decir, las tenemos ahí, lo que tenemos que

hacer es utilizarlas de la mejor manera posible y para eso tenemos la tecnología.

El medio ambiente

Es incuestionable que el medio ambiente, el cambio climático o como se quiera llamar, está directamente relacionado con el aumento de población, las emisiones, la cantidad de CO₂ y la temperatura. Un punto importante también es que el medio ambiente es un problema global, Según datos del CIEMAT de hace bastantes años, se encontró un efecto de una fuente radioactiva, que apareció en el sur de Francia y no se sabía de donde venía. Esta fuente después de analizarla, resulta que era una fuente procedente del sur de España, que alguien desde un hospital, la había lanzado a la atmósfera, y los vientos del mes de mayo, la habían llevado hasta Suiza, y en España no nos habíamos enterado. El medio ambiente no es un problema local, lo que hacemos aquí afecta a todo el mundo.

Las reservas de petróleo

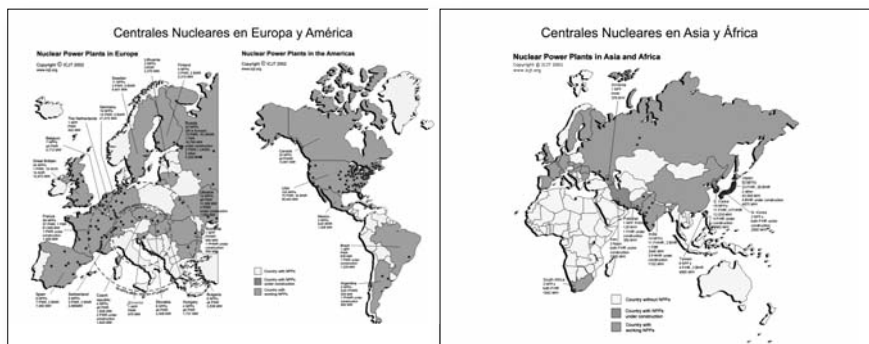
La mayoría de las reservas del petróleo está en sitios muy localizados, particularmente en Oriente Medio. ¿Cuánto petróleo hay? Pues no tenemos ni idea. Si uno mira lo que dijeron los distintos países propietarios de las reservas a lo largo de los años, vemos que de repente aumentan, se multiplica por tres, y posteriormente, se multiplica por no se cuantos en algunos países como Venezuela, Arabia Saudí, Irán, etc. ¿Qué es lo que pasó? ¿Se encontraros grandes yacimientos? No; lo que ocurre es que la cuota de los distintos países de la OPEP dependía de las reservas de petróleo. Entonces dijeron, ¡ah! Tenemos más de lo que habíamos dicho, y por lo tanto queremos vender más. Es decir, no se sabe muy bien, cuantas reservas hay, pero lo que sí sabemos es que los chinos están consumiendo como locos, y cada vez más; que los indios están consumiendo como locos y cada vez más, y por lo tanto parece razonable pensar, que a partir del 2020 como podría ser otro año, el petróleo convencional, que el que sale haciendo un agujero, costando poco, se irá acabando y habrá otro tipo de necesidades de petróleo y es lo que se llama el GAP del

petróleo. Hacia el año 2020, el petróleo barato, el petróleo convencional, se acaba.

Los hidrocarburos no se van acabar; hay en el fondo del mar, a profundidades bastante grandes, debido a la presión de tanta agua y de las bajas temperaturas, lo que hay es lo que se llama los clatratos de metano. Lo que hay son ingentes cantidades de agua helada formando unas moléculas, que lo que tienen atrapado dentro es metano, y ese metano es ingente. Sacarlo del fondo del mar es bastante complicado, por mucho motivos, entre otros, porque la propia estabilidad geológica del fondo del mar puede sufrir por sacar el metano. Se está pensando, que a lo mejor, el día que se saque se puede meter CO_2 para que las tensiones no sean muy grandes. Uno de los problemas que está ocurriendo es que al calentarse el fondo, estos clatratos que están en el fondo del mar se funden y sale el metano a la superficie, y el metano es como 20 veces más dañino que el CO_2 , desde el punto de vista de efecto invernadero.

La energía nuclear

La energía nuclear se basa, en que si tenemos un núcleo pesado, tipo uranio y lo colisionamos con un protón, se rompe en dos elementos más ligeros, liberando ingentes cantidades de energía. El enlace químico típico de los hidrocarburos es del orden de un electronvoltio, por decir una unidad. La energía que se libera en cada una de estas roturas es del orden de un millón de electronvoltios. Desde el punto de vista energético es enormemente intensivo.



En el mundo las centrales nucleares están distribuidas de muy distinta manera. En Europa por todas partes. En América concentradas y Japón todavía más. Según la agencia internacional de la energía y los datos oficiales que hay, a día de hoy, en el mundo se estaban construyendo 45 centrales nucleares, es decir, no está parado. El que esté parado en España, no quiere decir que esté parado en todo el mundo. Están construyendo en Rusia que no está tan lejos, en Bulgaria, Ucrania, Finlandia, Francia que está muy cerca. Es decir, en muchos países se está construyendo centrales nucleares.

¿Cómo está cambiando el parque de las centrales nucleares? En el año 2007 hubo tres centrales nucleares que se conectaron a red, en Rumania, en China y en la India. Pero en todas estas la que más nos afecta a nosotros es la francesa. En el año 2008 se empezaron a construir más centrales nucleares. Si se mira la energía nuclear desde el punto de vista mundial, advertimos que está muy activa. La vida de las centrales nucleares es típicamente de 40 ó 50 años. Ahora habréis leído en la prensa que se está discutiendo si cerrar o no Garoña, que va a cumplir 40 años, y la cuestión es si se permite que pueda operar más años. Podemos discutir si eso es interesante o no, pero en cualquier caso si todo estos reactores que ya tienen veintitantos años, hubiera que cerrarlos a los 40 años de vida, lo que tendríamos es que en 2020, que no está tan lejos, el petróleo barato se acaba, el petróleo convencional se acaba (porque están China, e India), y también acaba la vida útil de las centrales nucleares. Por lo tanto algo habrá que hacer, y hay un doble reto, garantizar la seguridad del suministro, es decir, todos enchufamos y tenemos luz, vamos a la gasolinera y tenemos gasolina, y queremos tener buena energía y tenemos que respetar el medio ambiente.

Hay un informe muy interesante, del Departamento de Energía de EE.UU. que en el año 2003, dice “que si no hay grandes avances tendremos grandes problemas, y en consecuencia, el BESAC, que es la sección de ciencia básica del departamento de energía, cree que es esencial, un programa nuevo de investigación en energía a nivel nacional que debe iniciarse con la inten-

sidad y el compromiso del Proyecto Manhattan, con el apoyo presupuestario necesario hasta que el problema quede resuelto". Esto es muy interesante. La investigación en el departamento de la energía de EE.UU. pretende tener independencia energética. EE.UU. tienen una dependencia en energía del exterior de alrededor del 60%, España de más del 80% y eso le hace vulnerable. Quiere tener sostenibilidad ambiental, contamina el que más, y es una oportunidad económica, y dice: si yo ahora desarrollo nuevas tecnologías energéticas, desarrollaré un nuevo negocio, que además, en lugar de importarlo, si soy capaz de desarrollarlo, lo podremos vender, y plantea algunos temas en los que también dice que hay que investigar en relación con la energía, y lo primero es, investigar en materiales.

¿Por qué hay que investigar en materiales? Bueno, pues hay que investigar en materiales, por ejemplo: los álabes de las turbinas de los aviones están sometidos a tensiones de temperaturas altísimas, tienen que durar muchos años; los materiales que tienen el reactor nuclear, están aguantando radiación durante años y años, tienen que aguantar mucho; los catalizadores en los tubos de escape de los coches, tienen que aguantar mucho tiempo funcionando correctamente, luego tenemos un problema de materiales.

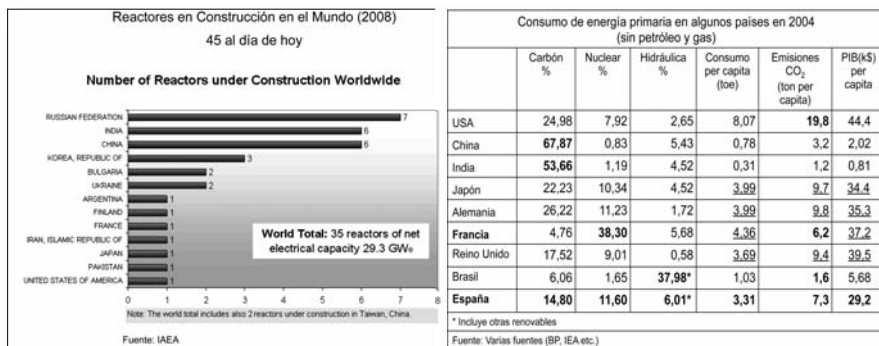
Hay problemas de catálisis para la energía; el almacenamiento de energía, es otro de los temas clave. Cuando se habla del hidrógeno, el hidrógeno para el transporte es un almacenador de energía, no es otra cosa; si tenemos energías renovables que son intermitentes, no necesitamos almacenarlas, si queremos hacer un coche que funcione con baterías, pues tenderé a almacenar energía. Es un tema absolutamente clave en la investigación y hay muchos otros, simplemente, es en la investigación en energía y en cualquier cosa. Hay una parte de investigación básica, que es la que está ahí, una parte de investigación aplicada y una parte de maduración y penetración tecnológica.

Lo que es clave, tal como lo entiendo yo, es que hay que investigar en energía, en temas que son marginales, que no tienen ninguna relación inicialmente con la energía. Si yo digo que hay que trabajar en pozos cuánticos en semiconductores, dices,

pero si este está chalado, como es que ahora hay que hacer un pozo cuántico. Y no sé qué, bueno, pues resulta que se piensa que los pozos cuánticos pueden dar lugar a células fotovoltaicas mucho más eficientes. Por lo tanto, hay que investigar, en temas que estén marginalmente relacionados con el productos finales, ya vendrá luego quien haga investigación aplicada y quien haga el desarrollo tecnológico.

Nuevas fuentes

Ya hemos hablado del petróleo. ¿Qué nuevas fuentes hay? No hay muchas, una es la nueva nuclear, que ahora veremos que quiere decir esto, otra es la fusión, también lo comentaré, las renovables, y antes de que se me olvide, voy a ser un poco injusto con las renovables, porque los datos que he traído, son datos un poco antiguos, ya los comentaremos. Y luego el hidrógeno que muchas veces se habla como una energía renovable, pero el hidrógeno no es una fuente de energía.



La evolución de los reactores nucleares, no hace falta que entre en detalle, han evolucionado desde los años 40, y se piensa que evolucionarán más. Muchas veces, cuando se quiere atacar a la energía nuclear, dicen, es que ¡claro! ¡el uranio se va acabar! El uranio se puede acabar, pero un dato, cuando uno quema el uranio en un reactor nuclear convencional, como los que hay en España, y los que hay en la mayor parte del mundo, sólo obtiene el 3% del poder energético de ese combustible, ¿por qué? Porque se ha hecho muy mal, porque la tecnología se ha queda-

do muy retrasada. Lo que se piensa que se puede hacer es reprocesar el combustible, es decir, cuando quemamos el uranio producimos plutonio y una vez producido, ya está, lo que hay que hacer es reprocesar el combustible, sacar el plutonio, y volver a quemar, y volver a quemar y volver a quemar. Si eso se hace se llama retroceso, lo que se hace es obtener mucho más poder energético y además, los residuos son muchos menores, hay muchos menos residuos y muchos menos susceptibles de ser utilizados para proliferación de armamentos y cosas de esas.

Los nuevos reactores funcionan a temperaturas más altas, con lo cual son mucho más eficientes termodinámicamente y además, si uno hace lo que llaman los reactores rápidos, lo que puede ocurrir, es que elementos como el torio, que es extraordinariamente abundante en la naturaleza, no es fisionable, y de buenas a primeras no se puede utilizar, lo que se puede hacer es mezclarlo con el uranio y otros componentes, y acabar produciendo un elemento fisionable. Por lo tanto, el combustible nuclear, con nuevos reactores nucleares es prácticamente inagotable. La India acaba de poner en funcionamiento, un reactor nuclear rápido basado en torio. ¿Por qué? Porque tienen mucho torio. Por lo tanto, la energía nuclear está en evolución y los nuevos reactores nucleares van a reducir mucho los residuos y van a ser mucho más eficientes. A corto plazo hay varios desarrollos de reactores nucleares, los hacen General Electric, Framatome y Westinghouse en Sudáfrica; en fin hay muchos desarrollos de reactores nucleares, y a largo plazo está la Generación Cuatro, que es la de los nuevos reactores para los años 2030.

Un caso importante es el de Francia, y este si que me gustaría contarlo. En Francia, además es vecino nuestro, el 78% de la electricidad es de origen nuclear, reprocesa parte de su combustible, es decir, reutiliza el plutonio, para eso lo llaman óxidos mixtos, y vuelve a quemar y vuelve a quemar. Han desarrollado junto con Siemens un nuevo modelo de reactor nuclear que es el que se está instalando en Finlandia y el que se está construyendo en Normandía. Se espera que el coste de la electricidad, sea más barato y Francia anunció que a partir del 2020, fecha que yo decía que había que cerrar muchas centrales nucleares, lo que va es a

sustituir todos sus reactores nucleares por otros nuevos de nueva generación, y aquí, un dato bastante curioso: esto es parecido a lo que había hablado antes del consumo de energía de varios países, pero fijaros solamente en que Japón, Alemania, Francia y Reino Unido tienen un consumo de energía per cápita bastante parecido, el PIB per cápita también es bastante parecido, mientras que las emisiones de CO₂ en Francia son el 60% de los otros países, ¿Por qué? Pues es muy sencillo, porque tienen energía nuclear.

Como resumen de esta parte de energía nuclear. Los pros: Garantía suministro, emisiones mínimas de CO₂, tecnologías en constante evolución, los sistemas nucleares son seguros, lo que entendemos por seguro, probablemente bastante más seguro que ir en avión, el coste se puede reducir, el coste es caro y lo que hay que hacer es de necesidad virtud. Si Francia que es nuestro vecino, está desarrollando y va instalar energía nuclear a barullo, lo que no tiene mucho sentido es que le demos la espalda a esa energía nuclear, por lo tanto deberíamos aprovecharnos de los desarrollos franceses. En contra: Los residuos, los residuos es el mayor problema que tiene la energía nuclear, aunque hay maneras de reducirlos, no de resolver el problema; la proliferación, es decir, el miedo a que venga un señor y haga una bombita o algo así, cuanto más se queme el combustible, más difícil será el tema de la proliferación, y por supuesto la opinión pública está en contra.

La fusión

La fusión es todo lo contrario, la fusión tiene lugar cuando tomamos dos átomos de hidrógeno, dos isótopos, deuterio y tritio y se unen para formar helio y liberando también ingentes cantidades de energía. Eso es lo que pasa en las estrellas. La idea es singular, lo que pasa en las estrellas hacerlo en la tierra. En el interior del sol se llegan a los 15 millones de grados y para tener la relación deuterio tritio harían falta 45 millones de grados. Hay que calentar bastante y eso cuesta energía; la materia se convierte en un plasma, y además necesita unos tiempos de confinamiento y densidad bastante alta. El plasma se puede con-

finar varias maneras. El confinamiento gravitatorio que es lo que pasa en las estrellas, el confinamiento magnético de manera que el plasma se mueve sin tocar las paredes a 45 millones de grados pues si toca la pared por supuesto todo se funde. Y por último, la inercial consistente en la compresión de esferas de H_2 - H_3 mediante la irradiación con láseres muy energéticos o haces de iones acelerados.

Es la energía que está más relacionada con las bombas atómicas y es el proyecto europeo que está funcionando en Inglaterra, el JET, que ha sido el que más éxito ha tenido. La pregunta es: ¿Qué se ha conseguido hasta ahora, hasta el día de hoy? Hasta el día de hoy se ha conseguido demostrar la fusión, es decir, la idea de que la fusión existe, pues a parte de que está en las estrellas, se ha hecho en la tierra, pero hay dos cosas, una cosa es lo que se llama el breakeven y otra cosa es la ignición. Cuando tenemos un cigarrillo, y le pongo calor o pongo una cerilla, lo que hace es que se gasifica el carbón que hay ahí, y sale llama, si yo quito la cerilla, se apaga, y eso quiere decir, que yo he sido capaz de producir la combustión de los gases que yo he producido aquí, pero si quito la fuente externa, se apaga, y eso es lo que ha pasado con fusión. Con fusión se ha demostrado esto, pero no se ha demostrado que si yo quito la cerilla aquello sigue ardiendo, por lo tanto la fusión está demostrada. Es un problema muy complejo, pero todavía no hay fusión, producción de energía de manera sostenible. Este es el gran proyecto ITER, en el que está metido España a través de la Unión Europea y que se está construyendo en Cadarache.

Las energías renovables

El porcentaje de producción eléctrica basada en energías renovables, sin incluir, la hidroeléctrica, no ha aumentado en los distintos países a lo largo de los años, excepto en España, Alemania y Dinamarca. La electricidad generada en el mundo de fuentes renovables hasta el 2004, no ha cambiado especialmente, es decir, está bastante estabilizada, tanto la biomasa, como la geotérmica, la solar y la hidroeléctrica. La eólica ha aumentado mucho, pero la eólica representa un porcentaje pequeño de la total.

Porcentaje de producción eléctrica basada en energías renovables de algunos países.
(La hidroeléctrica no está incluida)

	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Dinamarca	3.1	5.4	4.2	7.1	10.0	11.9	16.7
Alemania	0.6	1.0	1.1	1.3	1.7	1.7	2.5*
Francia	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
Reino Unido	0.4	0.9	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3
España	0.4	0.9	1.0	1.4	1.7	2.4	3.3*
Finlandia	8.6	10.4	8.5	11.4	13.3	12.1	12.3
Unión Europea	1.0	1.4	1.4	1.7	2.0	2.0	2.5
Estados Unidos	2.1	2.2	2.2	2.1	2.0	2.1	2.1

* En España, en 2007, la Energía Eólica contribuyó un 9% a la generación de electricidad. En Alemania el 7%

Electricidad generada en el mundo por fuentes Renovables
2000-2004
(GkWh/años)

Fuente	2000	2001	2002	2003	2004*
Total	356.478	294.946	351.250	363.216	358.766
Biomasa	60.726	56.964	61.521	61.264	60.042
Geotérmica	14.093	13.740	14.491	14.424	14.355
Hidroeléctrica Convencional	275.572	216.961	264.328	275.806	269.636
Solar	493	542	554	534	579
Eólica	5.593	6.737	10.354	11.187	14.153

La energía fotovoltaica

La energía fotovoltaica aumenta muchísimo la producción de electricidad en Europa. En el año 2002 solo era 0,012% de la electricidad total de Europa, y cada vez se intenta hacer de células fotovoltaicas más sofisticadas. Son extraordinariamente caras y son composiciones de tres semiconductores. No voy a entrar en detalle en eso, evidentemente, pero cuanto más se desarrolla, mayor es la reducción del precio. Las células fotovoltaicas están evolucionando mucho ya que el silicio cristalino va a ser el menos utilizado, es muy ineficiente y además es caro, habrá que utilizar otro tipo de célula fotovoltaicas que sean más eficientes y más baratas.

Esto cuestiona lo que se está haciendo en España de poner células fotovoltaicas como locos y son todas ellas de silicio cristalino. La pregunta es si no valdría la pena utilizar parte de ese dinero en desarrollar nuevas células fotovoltaicas de tecnologías más avanzadas, por ejemplo, las nuevas ideas de células fotovoltaicas, de nanopartículas. Habrán oído hablar probablemente de nanotecnología, pues las nanopartículas, lo que llamamos pozos cuánticos, aprovechan más el espectro de la radiación solar.

La energía eólica

La energía eólica ha aumentado una manera disparatada. Si entran en la página de Red Eléctrica de España verán en tiempo real la producción de energía eólica, que está ahora mismo al 11%.

La energía solar de concentración

Una energía muy atractiva y que yo creo que va a tener bastante empuje, es la energía solar de concentración, no la fotovoltaica. Hay células fotovoltaicas que transforman la luz, no el calor, en electricidad por efecto fotoeléctrico. Para lograr esta energía lo que se hace es poner muchos espejos, esos espejos concentran la luz solar en un punto y que calienta agua y sales fundidas. Esto es lo que se hace en la plataforma solar de Crevillente. Hay distintas tecnologías, y se han abaratado mucho los costes. En la plataforma solar de Almería, del CIEMAT, todos los helióstatos se mueven siguiendo el sol y concentran la luz en un punto. Esto es lo que ha construido ya Abengoa en la planta solar de Sanlúcar la Mayor, cerca de Sevilla. El problema que tiene esto es que solamente, desde Despeñaperros hacia el sur hay radiación suficiente para instalar estas plantas.

Los biocombustibles

Los biocombustibles tienen muchos problemas, a parte de su relación con los alimentos. Si uno estudia las cosas con cuidado, cuando uno piensa y dice, pues yo planto maíz, y luego con el maíz produzco etanol, resulta que no es verdad que tienen emisiones cero.

Cuando se quema un biocombustibles produce CO_2 , es verdad que luego, al crecer la planta, toma el CO_2 de la atmósfera y por lo tanto el ciclo es cerrado, pero no es lo mismo, donde se produce que donde se quema. Además, para plantar girasol o maíz, tengo que roturar el terreno, echar fertilizantes y hacer no sé cuántas labores. Y puede ocurrir como en este caso del maíz, que el efecto de producción de CO_2 es mayor que el CO_2 que produce la gasolina.

Una pregunta curiosa: ¿Cómo compararíais las emisiones de CO_2 de un coche, con la producción de un kilo de carne? Pues si uno quiere producir un kilo de carne, lo primero que tienes que hacer que alimentarlas, luego, las vacas producen excrementos, los excrementos producen metano que es veinte veces más efectivo que el CO_2 , las vacas tienen ventosidades y por lo tanto

producen CO₂, etc. Las emisiones de CO₂ que se producen por generar un kilo de carne, de vaca en este caso, ya que de pollo es otra cosa, es lo mismo que las emisiones de CO₂ del gas de un coche que ande 100 kilómetros, y luego, nos damos cuenta de que en cada proceso industrial se pierde mucho rendimiento, y claro, primero tengo que plantar la planta, luego tengo que recogerla, luego tengo que no sé que, y luego tengo que licuarla.

Una vez, cuando yo estaba en el CIEMAT, se pensó hacer una planta de biomasa, y entonces, si nace un vegetal pequeño no salen las cuentas, por lo cual se pensó en producir plantas más grandes, pero si se hace una planta más grande hay que ir a buscar la leña más lejos, ir a buscar la leña, pues ¿Cómo se va? Pues en tractor. Resulta que al final el rendimiento energético era negativo, costaba más ir a buscar la leña que el rendimiento de la planta de biomasa, de modo que esto hay que verlo de una manera integrada.

Los biocombustibles de primera generación, basados en plantas comestibles, encarecen los alimentos aunque es difícil de cuantificar. Los biocombustibles, como el maíz, que necesitan fertilizantes basados en el nitrógeno, son una fuente de óxido de nitrógeno muy dañino como gas de efecto invernadero: el maíz puede tener peores efectos sobre el medio ambiente que quemar combustibles fósiles. El etanol americano a partir del maíz, el etanol a partir de la caña de azúcar y el diesel a partir de la soja brasileños tienen mayor impacto medioambiental que los combustibles fósiles. El mejor uso de la biomasa es en combustión sin licuarla; el proceso de licuefacción consume entre un 30 y un 40 % de su capacidad energética.

Otras fuentes

Hay nuevas posibilidades. En cuanto al hidrógeno, sólo os quería decir, que el hidrógeno no es gratis. El hidrógeno tiene que salir de algún sitio, y sale o de los hidrocarburos o por electrólisis del agua, pero si lo hago por electrólisis del agua necesito electricidad, y si lo hago por descomposición térmica del agua necesito calor, necesito energía, el hidrógeno no existe en la naturaleza, en cualquier caso sale a partir de hidrocarburos.

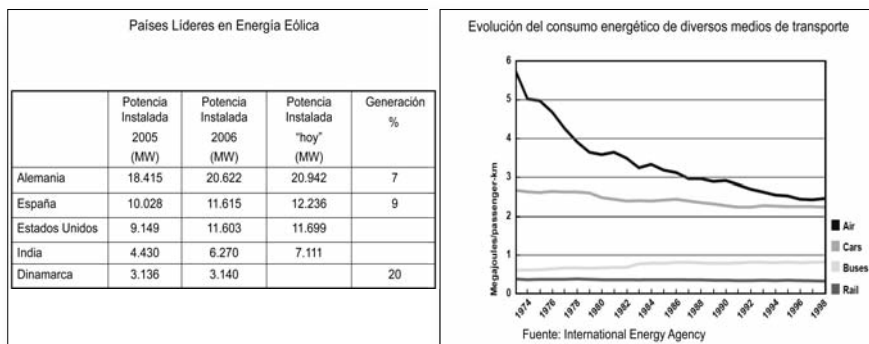
Después de la crisis de la energía, la eficiencia energética se ha desarrollado mucho especialmente en los hornos de gas, en el aire acondicionado y en los frigoríficos, con respecto a lo que consumían en el año 72.

Dos temas nada más y muy importantes a la hora de la eficiencia energética. Uno es la iluminación. La bombilla incandescente es más vieja que el tebeo, y tiene un rendimiento del 5%, mientras que la luz fluorescente tiene un rendimiento del 20%, que aún así es muy bajo si se compara con motores eléctricos o la calefacción. El 22% más o menos de la energía que se consume en EE.UU. es por iluminación; iluminación de tiendas, iluminación de todo, y todavía estamos usando luz incandescente. Pero hay un gran programa en EE.UU. para hacer luz a partir de los diodos. El problema que tienen los diodos es que emiten, en colores azul, verde y rojo y es muy difícil obtener la luz blanca que es la que nos gusta a nosotros. El objetivo es en el año 2025 desarrollar tecnologías avanzadas de iluminación de Estado Sólido con sistemas de un 50% de eficiencia, con emisión muy cercana a la luz solar. Este es un objetivo que se plantea el departamento de energía para el 2025 y para ello está financiando investigación básica en estos temas, para que eventualmente aparezca el desarrollo y la comercialización. Otro muy interesante es que cada vez hay más problemas de que no hay capacidad de suministrar electricidad a las ciudades, porque el cobre da lo que da, hay que poner muchos cables de cobre y además hay pérdidas del orden del 10% en la transmisión de electricidad. Por ello, lo que se está pensando es utilizar los superconductores, que son materiales que tienen resistencia cero y por lo tanto no habría las pérdidas que están habiendo.

Hay retos tecnológicos importantes. Se están diseñando nuevos materiales superconductores a escala atómica con tecnologías parecidas a la de la nanotecnología y ya en Albany, en Nueva York, se están sustituyendo cables de cobre por cables superconductores sin resistencia.

Simplemente para acabar ya, una reflexión importante. Creo que estoy hablando de muchas cosas pero ¿Qué pasa con el carbón? El carbón que nos preocupa mucho porque es altamente

contaminante, resulta que los grandes consumidores de energía que son EE.UU., Japón y la India consumen muchísimo carbón y además son autosuficientes en carbón. China tienen carbón, consumiendo a ritmo actual por 88 años, India 228 y EE.UU. 249 años, por lo tanto, más nos vale desarrollar tecnologías limpias de carbón, porque estos países lo van a usar de todas, todas.



Conclusiones

Las conclusiones a toda esta charla, es que a día de hoy tenemos pocas alternativas al petróleo en el transporte; biocombustibles, coches híbridos, coches eléctricos, hidrógeno, son posibilidades, pero no son inminentes. La electricidad se puede obtener de diversas formas pero con combustibles fósiles se daña el medio ambiente, mientras que la nuclear y las renovables tienen sus problemas. La investigación ayudará a encontrar vías de solución. El aumento de la eficiencia y ahorro en los países desarrollados es muy importante.

Y con esto, muchas gracias.



La intervención de los ponentes estuvo seguida de una intensa participación del público presente en el coloquio debate que se abrió a continuación.