

FUTURO Y VIABILIDAD DE LAS NUEVAS ENERGÍAS: La fusión nuclear y las energías renovables

*En las páginas siguientes se recoge el contenido que desarrollaron los ponentes del Seminario-Debate multidisciplinar, organizado por esta revista, sobre el **Futuro y viabilidad de las nuevas energías**, celebrado el pasado 5 de Mayo en la Universidad Autónoma de Madrid. El texto corresponde fundamentalmente al contenido íntegro de las intervenciones de tales ponentes, así como también al de algunos otros participantes que intervinieron en dicho debate.*

*Los citados ponentes fueron (por orden de intervención): **Vicente Gil Sordo** (Director Programa Interuniversitario de Economía Energética); **J. Emilio Menéndez Pérez** (Subdirector de Investigación y Desarrollo. ENDESA); **Carlos Alejaldre Losilla** (Director del Laboratorio Nacional de Fusión. CIEMAT); **Jesús Fernández González** (Catedrático de Agroenergética. U.P.M.); **Enrique García Camarero** (Profesor Titular de Física Aplicada. U.A.M.); **Jesús Rodríguez Pomeda** (Profesor de Organización de Empresas. U.A.M.); **Rosa Sáez Angulo** (Estudios Socioeconómicos Energía y Medioambiente. CIEMAT); El Seminario-Debate fue moderado por **D. Jesús Lizcano Alvarez** (Director de esta revista, y Catedrático de la UAM).*

Jesús Lizcano (Moderador del Seminario):

Este Seminario-debate multidisciplinar sobre las *nuevas energías* se encuadra dentro del proyecto global de Seminarios que organiza la revista *Encuentros Multidisciplinares*, en torno a la cual se desarrollan una serie de iniciativas, fundamentalmente de dos tipos: Por una parte, los propios *Seminarios-Debates* multidisciplinarios, y por otra, las *investigaciones* interdisciplinares.

En los Seminarios se abordan temas de interés social, desde diferentes perspectivas y disciplinas, de forma que podamos debatirlos abiertamente los asistentes, y que el contenido de las intervenciones y debates, por otra parte, se hagan públicos a través de su publicación en la revista *Encuentros Multidisciplinares*.

En este contexto de interés social, un tema muy importante actualmente es el de la *energía*, que constituye un *input* o recurso fundamental desde un punto de vista económico y productivo, y con unas claras incidencias e implicaciones sociales. El objetivo concreto del Seminario es abordar la panorámica global de la energía, fundamentalmente enfocada a lo que se conoce como *nuevas energías*. Ya sabemos que además de las energías convencionales, que todos conocemos (la energía del carbón, la energía del petróleo, la energía nuclear por fisión, etc.), se encuentran las energías renovables, las cuales se pueden dividir en dos bloques, según lo que parece ser la dicotomía o clasificación más amplia, clara y lógica: Por una parte, la energía por *fusión* nuclear, energía que en principio tiene una perspectiva más de futuro, y que aparentemente tiene más ventajas, en cuanto a energía *limpia*, y menos costosa económica y socialmente. Por otro lado, hay otra serie de energías renovables, que son aquellas energías que no disminuyen o agotan el inventario o el stock de recursos naturales, no contaminan muchas de ellas, tienen un efecto menos perniciosos, que algunas de las energías convencionales o actuales, y tienen un horizonte temporal mucho más cercano, en principio, que la fusión nuclear; aunque no tienen tanta intensidad o contenido energético como las energías convencionales, pero se caracterizan por un menor agotamiento de los recursos, y porque dañan menos al entorno, al hábitat, etc. todo ello es, en definitiva, de lo que vamos a ir hablando en este Seminario.



Ponentes del Seminario sobre Nuevas Energías: de izquierda a derecha: Jesús Fernández, Carlos Alejandre, Enrique García, Vicente Gil, Jesús Rodríguez, Rosa Sáez; abajo: Jesús Lizcano y Emilio Menéndez

Las dos primeras intervenciones o ponentes del Seminario van a abordar el contexto general de la energía, esto es, la situación actual en cuanto al coste de la energía, el sistema y la estructura energética actuales, el marco legal vigente, etc.

Dentro de ese contexto vamos a comenzar con la primera intervención, que es la que va a desarrollar **D. Vicente Gil Sordo**. *Vicente es Ingeniero de Caminos y Puertos, y también Economista. Ha sido durante sus primeros quince años de desarrollo profesional, Jefe de Planificación de UNESA. Después ha estado quince años de Director de AMYS, que es la Asociación de Prevención de Riesgos Laborales de UNESA. Ha sido también profesor de Álgebra en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros y Caminos de Madrid, y es actualmente también miembro del Consejo Rector de AMYS. El va a hacer una descripción del entorno general y el marco legal de la energía, para empezar a situarnos dentro de lo que es el contenido del Seminario.*

Vicente Gil Sordo:

El tema de la energía en estos momentos es apasionante. Vengo trabajando en el sector eléctrico durante treinta y tres años. El origen del marco legal actual de la energía hay que situarlo en el momento de la entrada de España en la Comunidad Económica Europea. Todos los sectores energéticos han tenido que cambiar y adaptarse a las normativas que emanaban de la Comunidad. En los años noventa, ya aparecieron dos Directivas importantes sobre Transparencia de precios y sobre el Acceso de Terceros a la Red (ATR), tanto para el sector eléctrico como para el sector del gas.

La Directiva fundamental que define las “Normas Comunes para el Mercado Interior de la Electricidad” es una Directiva del año 1997, en la que está basada la Ley 54 del sector eléctrico español, pieza fundamental de todos los cambios estructurales que está habiendo en estos momentos en el sector de la electricidad. Esta Ley ha cambiado profundamente la estructura y el funcionamiento del sector eléctrico, al cual me voy a referir primero. El desarrollo de esta Ley consta de once Reales Decretos aparecidos entre 1997 y el 2000, y una serie de Ordenes Ministeriales.

Como es sabido, hasta hace un par de años, exactamente hasta el 1 de enero de 1998, realmente lo que había eran diez o doce empresas en España, que tenían la concesión del servicio de electricidad en régimen de oligopolio. A efectos de costes y de tarifas, existían unos costes denominados “Costes Estándar”, que fijaba el Ministerio de Industria para cada uno de las instalaciones eléctricas, costes estándar que se recogían en tarifas y que luego servían para el cálculo de cada una de sus tipos. En definitiva, las empresas no tenían que competir entre ellas, no había competitividad; únicamente al haber estos costes estándar, determinados tanto para las instalaciones de generación como de transporte y distribución, las empresas analizaban si para hacer una inversión tenían unos costes iguales o inferiores a esos costes estándar que se iban a recoger en tarifas: si los tenían inferiores acometían la inversión y si no, no lo hacían. Era un sistema muy regulado de simple funcionamiento.

A raíz del cambio legal, las empresas eléctricas tienen actualmente que competir entre ellas, ya que hay una liberalización total en la generación y en la comercialización, quedando en régimen de actividades reguladas, el transporte, la distribución y las gestiones económica y técnica del sistema. Vamos a ver en qué consiste todo esto, porque no es fácil.

En estos momentos, los consumidores ¿cómo pueden comprar su energía, la energía eléctrica que necesitan? Hay dos tipos de consumidores: unos, que se llaman consumidores *cualificados* que son los grandes consumidores, y otros que son pequeños consumidores, que somos todos los del sector residencial y los industriales de baja tensión en estos momentos, y que todavía no vamos a poder elegir la compañía eléctrica para el suministro de nuestras necesidades. Sin embargo una gran industria, una fábrica importante, que tiene un determinado consumo, va a tener la consideración de cliente cualificado y como tal va a tener varias alternativas a la hora de comprar su energía eléctrica: comprar directamente al “pool” de energía, comprar a un comercializador, o importarlo de otros países.

En definitiva, los distribuidores y los comercializadores adquieren la energía en el mercado de generación, del que luego expondré algunas ideas, y la suministran a sus clientes, en todos los casos a través de las líneas eléctricas de los distribuidores.

Los clientes de las distribuidoras abonan una tarifa integral regulada por todos los conceptos a través del Boletín Oficial del Estado. Los clientes cualificados, que adquieren su energía en el “pool” ó a través de una comercializadora, abonan por una parte el coste de la energía y por otra una tarifa de acceso a la red de distribución.

A partir del 1 de julio serán clientes cualificados todos los que toman la energía a una tensión superior a 1 kilovatio (a 1.000 voltios). Esto supone el 53% de todo el consumo español; dicho de otra manera: el 53% de todo el consumo eléctrico nacional, del orden de los 200 terawatios/año, va a estar ya liberalizado.

Desde el punto de vista de generación, en estos momentos, hay competitividad al 100%. Por tanto cualquier “Agente del mercado de generación” que vaya al registro y obtenga un permiso administrativo, puede producir electricidad dentro de nuestro sistema. ¿Cómo? Pues tiene que competir en un “pool” que es como una “bolsa”, la bolsa de generación de electricidad. Esto funciona realmente de hoy para mañana. ¿Qué productores van a generar la energía eléctrica que vamos a consumir mañana? Todo aquel que quiera producir mañana, tendrá que mandar sus ofertas antes de las 10 de la

mañana de hoy, y ofertar tantos megavatios a tal precio, tantos megavatios a tal otro, etc., en función de los costes variables de su equipo.

Por tanto, todos los Agentes mandan sus ofertas al Operador del Mercado, y este Operador recibe también demandas de los distribuidores, o de los comercializadores. Entonces se hace la “casación de ofertas y demandas”. Existe por tanto la curva de la demanda y la curva de la oferta, y en el punto donde se cortan, ése es el precio marginal al cual se va a pagar la energía de esa hora. De esa manera cada hora del día tiene un precio de la electricidad en el mercado de generación. Existen otras variables pero no quiero complicar más este tema.

En definitiva, como la generación está totalmente liberalizada, cualquier productor que esté en el Registro de Productores de Electricidad en España puede hacer las ofertas que desee al Operador de Mercado. Es un concepto de mercados sin distancias, es decir, que el Operador del Mercado, o los expertos de la gestión económica del sistema, lo que hacen es casar demanda y oferta. Como las leyes que rigen el funcionamiento de las redes eléctricas son complejas, es necesario que exista otro agente, el Operador del Sistema, que desde el punto de vista técnico, tiene que velar por la seguridad y por la calidad del suministro porque existen numerosas variables técnicas: frecuencia, potencia, etc, que hay que vigilar para que esta calidad de servicio sea adecuada. Esa es la gestión técnica del sistema que realiza el Operador del Sistema, función que recae actualmente en Red Eléctrica de España.



D. Vicente Gil Sordo

Todo esto que he dicho hasta ahora es válido para el Régimen Ordinario, en estos momentos el 84% de la producción de electricidad en España. Pero hay unos productores especiales, que se llaman de *Régimen especial*, que son los de la cogeneración y las energías renovables. La cogeneración, que aumenta la eficiencia de la producción de un 38 ó 40% que tienen las centrales térmicas convencionales hasta el 60 ó 65%, mejoran el aprovechamiento de las energías primarias y por tanto, también mejoran el tema medioambiental. En segundo lugar están las energías renovables que por su carácter de renovables y un menor impacto medioambiental, reciben un trato especial frente a los del régimen ordinario. Constituyen en estos momentos el 16% de la producción total actual. Hoy día cualquier productor de Régimen Especial, una institución, o cualquier persona física o jurídica, puede hacer, por ejemplo, una instalación eólica. Entonces la distribuidora donde esté localizada esta instalación eólica, tiene estas dos obligaciones principales: 1º) Tiene que comprar toda la energía que produzca. 2º) Además, tiene que comprársela a un precio que está ya fijado por el Ministerio de

Industria y que es el siguiente: es el precio del “pool” más una prima, del orden de 3 a 5 pesetas por kilovatio-hora (en el caso de la fotovoltaica, la prima es de unas 60 Pts/kWh).

Téngase en cuenta además, que los precios que los productores ordinarios ofertan al Operador de Mercado oscilan bastante; no es lo mismo ofertar un kilovatio a las 4 de la mañana donde la demanda es menor, que dar un kilovatio hora a esta hora de la mañana en que ahora estamos, que es un momento de hora- punta. Digamos que el coste de generación puede oscilar entre 4'50 pesetas a las 4 de la mañana, y en estos momentos puede el kilovatio-hora costar unas 7 pesetas. Tampoco es lo mismo dar un kilovatio-hora en un sábado o un domingo, de demanda baja, que darlo un lunes, un martes o un miércoles a las 12 de la mañana. El precio del kilovatio-hora es muy distinto en función de la hora en que sea demandado o del día de la semana.

La producción de energías renovables es, actualmente del orden del 6% del consumo total de energía primaria del país. De este 6% de energías renovables, la mitad va a usos térmicos de uso final, y la otra mitad va a la producción de electricidad. Recientemente se ha aprobado el Plan de Fomento de Energías Renovables. Para el año 2010, que es su año horizonte, estas energías van a duplicar su participación. Se trata de lo que llaman en inglés *green electricity*, electricidad verde. Creo que es un término que se va a ir imponiendo cada vez más.

Por otra parte, el gas está sometido a un proceso de liberalización igual que el de la electricidad, si bien el gas va a un ritmo más lento que el de la electricidad. Los eléctricos se quejan de que el ritmo de liberalización del gas no va en paralelo con el de la electricidad. Además, he podido comprobar ayer en Bruselas, que está pasando lo mismo en Holanda, en Italia y en otros países europeos, salvo en Inglaterra, que en este tema va por delante.

En el gas hay un régimen de monopolio prácticamente, o de posición dominante por parte de Gas Natural. En el grupo Gas Natural, el aprovisionamiento lo hace el 100% Enagas; el transporte el 97% es de Enagas y el 3% del País Vasco; el 100% de las instalaciones de almacenamiento y de gasificación son de Gas Natural, y el 85% de la distribución en el sector residencial es de Gas Natural y el 98% de la distribución del industrial, es de Gas Natural. Con lo cual resulta que aunque hay una legislación que favorece la liberalización, en realidad hay una posición dominante por parte de Gas Natural. En el reciente debate de investidura del Presidente del Gobierno, habréis visto que uno de los objetivos para esta legislatura, era precisamente acabar con este régimen de monopolio que tiene Gas Natural dentro del sector gas.

Comentario de un asistente: La cogeneración, si no estoy equivocado, opera fundamentalmente a base de gas natural. No entiendo muy bien porqué se incluye en el mismo grupo, en el mismo *paquete* de energías renovables, dado que el gas es exactamente igual que el petróleo para los efectos de las energía fósiles.

Respuesta de Vicente Gil: Se mete en el mismo *paquete*, porque ha habido un importante fomento de la cogeneración, por razones, del aumento en su eficiencia en la utilización de la energía primaria. Ese aumento en la eficiencia significa además un menor impacto medioambiental, al estilo de las energías renovables. Por otra parte, las primas que recibe la cogeneración son distintas de las que se reciben en el Plan de energías renovables, es decir que, aunque están metidos desde el punto de vista filosófico en el mismo “paquete”, cuantitativamente no están igual tratadas que las energías renovables. Por otra parte, ha habido ciertos abusos por parte de la cogeneración, ya que había instalaciones que no las hacían realmente para producir el calor que necesitaban en sus procesos industriales, sino que el negocio era vender los excedentes a un precio que variaba entre 10 y 12 pesetas el kilovatio hora. Es decir se ganaba más vendiendo electricidad que generando calor para sus procesos industriales. Por tanto había un cierto abuso, que lógicamente ha tenido que ser regulado por el Ministerio de Industria.

*Jesús Lizcano: Pasamos a continuación a la siguiente ponencia, que es la que va a desarrollar **D. Emilio Menéndez Pérez**. Emilio es Doctor Ingeniero de Minas, y actualmente Subdirector de Investigación y Desarrollo del Grupo Endesa. Lleva competencias en temas relativos al desarrollo y tecnología del uso limpio del carbón, energías renovables, aspectos ambientales de la energía, recursos y sostenibilidad. Es profesor honorífico en la U.A.M., en nuestra Facultad de Económicas concretamente, y también en la Universidad Politécnica, en la Escuela de Minas. Viene siendo ponente en múltiples Cursos y Seminarios relacionados con estos temas. Es autor del libro “Las energías renovables, enfoque político y ecológico”.*

Emilio Menéndez Pérez:

Voy a hablar de algunos aspectos críticos de la energía, precisamente para resaltar la necesidad de que haya un cambio hacia la utilización de nuevas fuentes de energía. Este cambio está condicionado por necesidades ambientales globales, así como por aspectos económicos de sostenibilidad, (que haya recursos energéticos para todo el mundo) y, está ligado a la necesidad de un esfuerzo tecnológico muy fuerte; todo lo cual es necesario para poder evitar una situación crítica a la que podemos llegar en unas décadas.

Hasta hace pocos años hemos vivido la energía como un aspecto doméstico de cada país. Hoy estamos en un mundo globalizado que hemos de asumir, estemos o no de acuerdo. La primera cuestión de ese mundo globalizado es que somos bastantes personas, seis mil millones de personas, y llegaremos a ser del orden de diez mil. Pero dentro de esas seis mil millones de personas, hay una porción muy importante que no tiene determinados recursos o determinados servicios. En concreto en el aspecto energético simplemente como ejemplo, hay dos mil millones de personas, es decir un tercio de la población mundial, que no tiene luz eléctrica, y por lo tanto ahí hay algo que nos distorsiona; aparte de que hay un montón de gente que no tiene agua, que no tiene acceso a servicios de educación, etc. Pero aquí nos centraremos en el aspecto energético, con esos dos mil millones de personas sin energía, o por ejemplo en China con cuatrocientos millones de personas sin luz eléctrica. Por lo tanto cuando hablamos de que si en China hay que hacer una cosa u otra, evidentemente lo primero que hemos de asumir es como conseguir electricidad para esos cuatrocientos millones de ciudadanos. Entonces quizá al analizar cómo lo hacen los responsables chinos, seamos por lo menos más comprensivos en que: el problema para ellos no es fácil y puedan llegar a tomar decisiones como construir veinte grupos nucleares, lo cual da un cierto miedo si se piensa en un incidente nuclear allí o, por contra construir la planta de la central eléctrica de las Tres Gargantas, tan criticada desde ciertos ámbitos.

Estos seis mil millones de personas, consumimos diez mil millones de toneladas equivalentes de petróleo. Tonelada equivalente de petróleo, tep, es una unidad que significa una tonelada de petróleo con el poder calorífico teórico de 10.000 kilocalorías por kilo de petróleo. Transformando el carbón, transformando los otros consumos energéticos en unidades equivalentes nos encontramos con que el consumo actual de energía es de 10.000 millones de tep. Esto supone un consumo individual de 1,6 tep/habitante y año, y este ratio se ha mantenido más o menos igual durante las dos últimas décadas, lo cual significa que cuando estemos en los diez mil millones de habitantes, que será a mitad del siglo que viene, pues andaremos cerca de haber doblado ese consumo energético. Eso, como comentaré luego, tiene ya una incidencia ambiental muy fuerte.

Volviendo al tema de esa desigualdad, en un mundo global y que por lo tanto no podemos pensar que se pueda mantener de una manera similar a la actual, menos del 15% de la población, consumimos más del 80% de esta energía, todo lo que somos los países del primer mundo, es decir, Europa, América del Norte -desde Estados Unidos a Canadá- y Japón, nos llevamos el 80% de la energía. Aparte de consumir ese 80% de la energía comercial, casi todos los países del Primer Mundo

la tomamos de terceros países. Estados Unidos que tiene amplia disponibilidad energética, está importando las dos terceras partes del petróleo que consume, es el mayor comprador de petróleo del mundo. En el caso europeo, importamos la mitad del total de la energía que consumimos. Curiosamente hay matices, y uno es que Gran Bretaña produce el 115% de la energía que consume, es decir, es un país excedentario y, es en añadidura un país excedentario en gas. Ha estructurado un sistema liberalizador que a ella le conviene, porque es autosuficiente y puede jugar a unas determinadas leyes de mercado. En ese juego de leyes de mercado incide que además tiene grandes empresas energéticas por el mundo, BP British Petroleum, asociada hoy con Amoco, es una de las grandes empresas petrolíferas del mundo. No olvidemos que, aunque sean multinacionales, las empresas suelen tener un lugar de residencia más o menos unido a su origen.

En cambio en el lado totalmente contrario del esquema energético europeo está España, donde somos dependientes del exterior en un 75% de la energía que consumimos. Importamos las tres cuartas partes de la energía que consumimos y parece que tenemos una carrera loca con Gran Bretaña para ver si liberalizamos más rápidamente que ellos. Con lo cual podemos estar corriendo un fuerte riesgo en el futuro, en función de que el mercado no sea tan fácil como se cree.

En este contexto global ¿De dónde nos viene esa energía a todos los consumidores? De las 10.000 millones toneladas equivalentes de petróleo, casi la mitad, algo más del 40% corresponde a petróleo, del orden de un 20% es carbón, algo menos de un 20% hoy por hoy proviene del gas natural, a nivel mundial poco más de un 5% corresponde a energía nuclear y un 15% es de origen renovable. En el caso español la nuclear es algo mayor y las renovables son menores, prácticamente está al revés que el ratio mundial en estos dos apartados.

Este esquema prácticamente vale para la mayoría de los países, salvo que tomemos un país muy atípico como Noruega, que tiene mucha energía hidráulica, o tomemos alguno otro país atípico como los del Oriente Medio, que tienen esencialmente petróleo. Pero en todo nuestro contexto geográfico y en Europa en concreto vale este esquema. Esas son las energías primarias que trasladamos a dos centros de transformación, uno la generación de energía eléctrica, y otro las refinerías de petróleo más los diferentes cauces de distribución de combustibles de uso directo: derivados del petróleo, gas natural u otros. Hay un primer matiz muy importante a la hora de hablar de cómo estamos energéticamente. La energía eléctrica sólo supone un tercio de esta energía primaria. Nuestros condicionantes relativos a la energía, para hoy o para el futuro, no sólo dependen de la energía eléctrica, que sólo es un tercio, sino que depende también y mucho de los dos tercios que suponen los combustibles de uso directo.



D. Emilio Menéndez Pérez

Si contemplamos el esquema de consumo desde otro punto de vista, cuando usamos energía, un tercio de toda nuestra energía se nos va en un combustible directo muy familiar, que es la gasolina y el gasoil, es decir, la automoción se lleva un tercio, otro tercio se lo llevan los usos eléctricos: la iluminación, la fuerza eléctrica para todos los usos y, otro tercio se lo llevan los otros combustibles, los combustibles de calefacción, los combustibles de hornos industriales, los combustibles de cualquier otro uso. Entonces cuando nos plantemos el futuro, hemos de pensar que no lo podemos ligar sólo a la energía eléctrica, sino también a estos otros combustibles.

¿Cómo están los aspectos relativos al suministro?: El petróleo, que lo hemos consumido intensamente en el siglo XX, tiene unas reservas conocidas para cuarenta años, el gas natural para setenta, y el carbón para mucho más tiempo, del orden de quinientos años. Fijaros que nos estamos comiendo a mayor ritmo aquello de lo que menos tenemos, lo cual es un riesgo absurdo desde el punto de vista de ordenación de la despensa. Esas son las reservas conocidas, que en la última década crecían al ritmo de lo que íbamos comiendo y que ahora crecen menos, porque evidentemente los yacimientos más fáciles de descubrir ya se han descubierto y porque hay que hacer inversiones más fuertes para descubrir nuevos yacimientos.

Si hablamos con los geólogos, éstos nos dicen que los combustibles fósiles son materiales sedimentarios, por lo tanto sólo puede estar en depósitos sedimentarios con unas determinadas características de las rocas correspondientes. Ellos nos dicen, “esas reservas que hoy conocemos se puede multiplicar hasta por tres, pero no mucho más de tres”. Los geólogos más optimistas hablan de cuatro, pero no más que eso. Eso significaría que si hacemos una *foto fija* y nos quedamos estables en consumo, los combustibles fósiles se habrán consumido en: ciento y pico años para el petróleo, para el gas natural parecería que más, pero estamos incrementando nuestro ritmo de consumo mucho, es decir que estaríamos hablando de otros ciento y pocos años y para el carbón de muchísimos años, por lo menos de una magnitud temporal en la cual se pueden introducir muchos cambios en la tecnología. Las otras alternativas energéticas tienen unos recursos mucho más amplios, pero pensemos que siempre las estamos viendo tanto a la energía nuclear como a las renovables, fundamentalmente para cubrir este tercio de electricidad, luego ya nos aparece el problema de cómo cubrir los otros dos tercios de combustibles de uso directo.

Hay un problema de precios en estas materias primas. El petróleo se mantiene en un precio más o menos controlado, porque extraer un barril de petróleo de Oriente Medio cuesta entre cinco y diez dólares. Pero la extracción en el Mar del Norte supone unos veinticinco dólares, con lo cual mantener ese precio alrededor de veinticinco \$/bbl significa beneficios en Oriente Medio y significa más o menos estabilidad del negocio en el Mar del Norte. En el momento en que en vez del Mar del Norte que tiene unos recursos limitados, tengamos que ir a otros sitios, los costes ya van a cambiar; en concreto un gran yacimiento de petróleo son las islas Malvinas. La guerra que hubo allí, aparte del folklore y otros problemas de su momento, estaba también acondicionada porque aquello era una gran reserva de petróleo. El coste que se estima hoy para extraer petróleo de un yacimiento que está a 3.000 metros bajo el mar y luego hay que perforar por tierra firme en orden de los 50 ó 60 dólares el barril.

Hay una cierta suposición de que un precio estable para el barril de petróleo dentro de unas décadas, va a ser esos cincuenta dólares por barril. Otra razón para ello, es que tanto el carbón como el gas natural, cuando el precio esté a cincuenta dólares el barril, se pueden transformar en combustibles líquidos sustitutos de la gasolina de forma competitiva, es decir, cuando el barril de petróleo cueste 50 dólares, el precio de obtener gasolina del petróleo o del carbón va a ser similar. Pero ¿qué pasa con esos cincuenta dólares?. El año pasado a un precio en torno a los 20 dólares el barril, nosotros como país gastamos casi el 10% de nuestra balanza de pagos en comprar energía, que es mucho o poco depende de cómo lo miremos, pero de momento no es dramático. Pero países como Marruecos que consumen poca energía porque está muy poco desarrollados, o como Cuba que tiene esos problemas que todos conocemos, gastan el 20% o masa de su balanza de pagos en comprar energía. Eso significa que si pasamos de 25 dólares el barril a 50 dólares el barril, casi todos los países que importan energía, fuera del "club de ricos" que hoy somos, no tienen viabilidad económica. Un país que gaste el 50% de su venta de plátanos o cualquier otro producto agrícola o pequeño tecnológico en comprar energía, no le permite crear infraestructuras, ni crear nada.

Entonces la salida de esos países es muy relativa y, por añadidura, los países y las empresas del primer mundo de las que todos somos participantes, bien porque están en nuestro entorno o bien incluso por que jugamos a la Bolsa y tenemos algo de nuestro dinero metido en esas empresas, están participando en el esquema energético de ese tercer mundo y forzando la utilización rápida y masiva de los recursos energéticos más favorables. En concreto el gas natural está incrementando mucho su utilización porque favorece esa liberalización del sistema energético. Una central de gas natural, tiene una inversión específica inferior a la tercera parte que una de carbón e inferior a la décima parte que una nuclear. Entonces si la inversión específica es baja, las empresas pueden asumir el jugar a subastar energía, porque no arrastran una deuda muy fuerte.

En el momento que haya que volver a rehacer el sistema en base al carbón o nuclear, no se puede liberalizar y de alguna manera, la gran eliminación de la nuclear del sistema, no fue ni un logro de los ecologistas, ni un logro de los movimientos sociales más o menos de izquierdas que hayan estado en contra de la nuclear, es un logro del liberalismo actual; con una inversión específica de 600.000 pesetas por kilovatio instalado, no se puede subastar energía. Pero de momento esa demanda acelerada de gas y el poner en valor las acciones de bolsa, se está traduciendo en este momento en que por ejemplo, una empresa explotadora de yacimientos de gas en Argentina, asuma que su planteamiento es "yo tengo que sacar el gas natural en veinte años o en quince años, porque el valor de ese recurso económicamente descontado durante veinte años, es mucho mayor, que si yo lo descuento durante cien años".

En ese sentido se está despilfarrando la energía fósil más noble. En Argentina se está vendiendo energía eléctrica a la red a 3 pesetas el kilovatio-hora, porque se está tratando de dar "valor actual" a las reservas de gas natural. ¿Qué significa? Que aunque Argentina tenga mucho gas natural, dentro de unos años estará como Ecuador, que era un país exportador de petróleo, hoy no lo es, y se encuentra en una fuerte crisis. Evidentemente Argentina es un país, quizá también algo privilegiado, que primero

exportó cueros, antes que carne, luego le apareció el trigo, luego el gas y tiene la confianza que en el futuro le aparece otra cosa que vender, por ejemplo energía eólica e hidrógeno.

Pero en cualquier caso, en el esquema energético actual estamos deprendado las reservas de la Tierra. Aparte, hay un aspecto ambiental fuerte y es, nosotros estamos consumiendo los combustibles fósiles con un elevado grado contaminación ambiental. Por razones de falta de eficiencia energética. Antes hablaba Vicente del rendimiento. El rendimiento de un automóvil es menos del 20% y el rendimiento de una central eléctrica de ciclo de vapor, que use combustión en caldera, está alrededor del 35%, y llega a un 50% en el caso del ciclo de gas, turbina de gas y vapor en ciclo combinado. Eso significa que usamos la energía con ineficiencia y por lo tanto tiramos mucha más contaminación de la necesaria.

Estamos introduciendo sistemas limpios para una serie de actividades energéticas, buscamos evitar las lluvias ácidas, etc., pero no estamos resolviendo el problema de la cantidad de CO₂ que estamos poniendo en la atmósfera. A mitad del siglo pasado, hacia el año 1850, la concentración de CO₂ en las capas altas de la atmósfera era 250 partes por millón en volumen y la actual concentración es 360 partes por millón en volumen; eso significa un cambio muy fuerte en la atmósfera. Estos 10.000 millones de toneladas equivalentes de petróleo que consumimos, es una cifra del orden de magnitud equivalente a la que la energía del Sol, a través de la fotosíntesis, fija en la vegetación de la Tierra. Entonces, aunque hablemos de que siempre había contaminación y los problemas se han resuelto, la situación actual es diferente. La contaminación de hace dos siglos estaba movida por un vector pequeño. Hoy usamos un vector tamaño Tierra, porque la fotosíntesis es un vector Tierra, y es un vector que ha modelado la Tierra. Este vector la va a modelar si nosotros en 300 años ponemos en la atmósfera todo el CO₂ que la Tierra acumuló en 300 millones de años dentro de los combustibles fósiles. Estamos haciendo un proceso reversible a una velocidad un millón de veces superior a como lo hizo la Tierra.

El cambio climático, que no es objeto de esta reunión de hoy, es algo que está ahí, que hemos de asumir y que está ligado complementemente a el uso de combustibles fósiles. La apuesta por el gas natural introduce un factor de mejora. El gas natural emite la mitad de CO₂ que el carbón para un mismo proceso energético, un kilovatio-hora producido con carbón significa un kilo de CO₂. Un kilovatio producido con gas natural significa medio kilo de CO₂. En esa apuesta que Europa hemos hecho de que vamos a reducir el 8% de las emisiones de CO₂; cuando cambiemos a gas natural, muchos de nuestros procesos energéticos, habremos conseguido una rebaja bastante importante en la emisión de CO₂. Este cambio no sólo va a la producción de electricidad sino que está empezando a pensarse para sustitución de combustibles de uso directo. Cambios tecnológicos como celdas de combustibles, van a permitir la automoción con gas natural o con derivados de gas natural, con un rendimiento superior y con una emisión de CO₂ mucho más baja. No lo conseguiremos en el año 2010, pero de alguna manera lo conseguiremos pronto, aunque esto no sea suficiente para evitar el cambio climático.

Al principio comentaba yo que la energía es una cuestión globalizada, es decir, quizá vayamos a hacer en nuestro entorno una cultura de *usemos gas natural*, somos muy limpios, pero el problema de CO₂ a nivel mundial no se resuelve. Porque si yo uso gas natural, no le queda a otros, y además los otros no tienen la capacidad de crear infraestructuras que tengo yo. Un país pequeño de Africa, de América Latina o de Asia, no pueden montarse un gran gaseoducto, no puede montarse una instalación de regasificación de gas, etc. Entonces hay que buscar otras alternativas. En ese sentido las energías renovables, pueden parecernos algo folklórico, nos pueden parecer una foto bonita y de hecho, las apuestas que nosotros tenemos, es solo llegar al 12% de toda la energía primaria a través de renovables. Está bien en la medida que significa un desarrollo de tecnología, una concienciación cultural de que este sistema no es sostenible y está bien si además se introducen una serie de cuestiones que hagan factibles que estas energías renovables se trasladen hacia el Tercer Mundo. La puesta de la Comunidad Europea es de ese 12%, pero las Naciones Unidas advierten con miedo, de que si el año

2050, la mitad de la energía que utiliza el mundo no es renovable, todo el Tercer Mundo no será viable. Evidentemente que ese Tercer Mundo no sea viable, significa un cruce máximo de pateras, entre otras cosas..

Hay otro hecho de la globalización y es que, la televisión se ve en todo el mundo. A mí me contaban personas que hacen instalaciones, ONGs, de iluminación fotovoltaica en una aldea pequeña del Tercer Mundo, que lo primero que le enganchan al panel fotovoltaico antes que una nevera para guardar una medicina, es un televisión para la gente introducirse en el mundo, participar del mundo. Evidentemente el paisano que está en la mitad del Tercer Mundo, ve el Primero, que es lo que muestra la televisión y si no se le da otra alternativa energética, aparte de otras cosas, se va a venir. Esa alternativa energética tiene que reunir una serie de condiciones: Que no le fuerce a estar comprando un producto energético que no va a poder pagar. Resolver un tema de inversión, que ese sí es difícil y que la inversión específica no la puede pagar, y ahí hay un problema para la energía nuclear que el no puede pagar, hay un problema para ciertas energías renovables que hoy todavía son muy caras.

Las energías renovables introducen otro condicionante, es que son distribuidas. Estamos acostumbrados a usar energía cada vez más concentrada, y en áreas cada vez más concentradas. Esa concentración en el Tercer Mundo, que copia al Primero, está llevando a distorsiones de brutales, la de México DF o cualquier otro ejemplo posible. El transporte y concentración de energía supone un coste extra. Aunque también se ha de tener en cuenta que en el mundo hay grandes zonas de población dispersa, a las que también hay que llevar energía comercial.

Para mí, hay un problema básico y es, que dentro de dos, tres o cuatro décadas habrá una potencial crisis energética muy fuerte, porque habremos llegado al límite razonable de ciertos combustibles fósiles, ese límite hará que se encarezcan, ese encarecimiento hará que no lo pueda comprar una parte importante del Tercer Mundo, y las tensiones serán las que sean. Evidentemente en el jardín del Primer Mundo, nos podemos rodear de una valla, seguir tomando la energía del Tercer Mundo y no dejándoles entrar. Pero eso quizá no es muy factible o por lo menos deberíamos plantearnos otras cosas. Yo no me quiero meter en el análisis específico de las energías renovables, salvo que tengáis algún comentario, va a ver otras personas que van a ir exponiendo alternativas sobre ellas.

Carlos Sánchez (Catedrático de Física de Materiales de la UAM): Emilio, has ligado muy estrechamente la existencia de la emigración en ciertos países hacia los nuestros, a la posibilidad de una alternativa energética. Eso me parece una simplificación excesiva y además un poco devaluadora de la realidad. La emigración se produce sin duda por muchas razones, una de las cuales es que los países como los nuestros, explotamos y vivimos a costa de otros países de donde vienen los emigrantes. Eso me parece mucho más importante, que no proporcionarles una alternativa energética.

Respuesta de Emilio Menéndez: Estoy totalmente de acuerdo contigo, lo he simplificado mucho. Hay bastantes más razones, no sólo habría que plantear una alternativa energética. Yo creo un poco en el conjunto de la Humanidad, creo en las personas individuales y creo que el conjunto de la Humanidad no se mueve por aspectos de justicia y por tanto no va fácilmente a hacer nada para que haya ese equilibrio social, salvo que tenga miedo muy claro. Si los dirigentes intuyen un miedo muy fuerte de una intensa migración o de algo similar, darán algunas soluciones. Por ejemplo el agujero de ozono, es algo que afecta directamente a la salud del hombre blanco, y cuanto más blanco, rubio y ojos azules sea, le afecta más, al hombre moreno del medio de la Tierra, le afecta poco; por eso, drásticamente los países que mandan, han tomado una solución frente al agujero de ozono. En la medida que el cambio climático afecta de una manera distinta, las soluciones son mucho más blandas. Posiblemente ese miedo a la migración brutal e incontenible, haga que se piense en esos problemas.

Cuando seamos conscientes de que la caída del imperio romano, coincidió con un cambio climático en Europa del Norte, y los bárbaros bajaron por que estaba desastrada todo lo que era Europa

del Norte en cuanto a climatología y cosechas. También podemos pensar que como estamos desastrando todo el sur, esas personas del sur van a necesitar subir. No sólo en el aspecto energético, estoy de acuerdo contigo, que son muchas más cosas. Pero también si tú al que manda, le envías un mensaje muy complejo, no te hace caso.

Pregunta de Roberto Marco (Catedrático de Bioquímica de la Facultad de Medicina de la UAM): Tengo una pregunta muy concreta. Me da la impresión de que el problema es mayor que el que aquí se ha señalado, y quería simplemente que lo comentaras; por un lado, la predicción del aumento de la población es grave; está claro que la velocidad de aumento está disminuyendo, pero esos diez mil millones que señalabas, creo que es una predicción optimista. Por otra parte, ese consumo con las cifras que estás diciendo es básicamente del 20% de la población actual. En este contexto, más países no desarrollados van a tratar de incrementar su consumo ¿cómo cambia esto las estimaciones que has estado haciendo o ya lo has incluido en tus estimaciones?.

Respuesta de Emilio Menéndez: El problema puede ser todavía más grave. Yo quizá estoy deformado por estar en áreas medioambientales del mundo energético, en el cual para que se nos haga caso de ciertas cosas, hemos de presentar los problemas, como muy factibles de que ocurran así. En cuanto que lo exageras y das un cierto motivo de exageración eres descalificado. Nuestro mundo energético, que además ha cambiado de ser público de alguna manera o regulado en el que yo me inicié y que tenía ciertas facilidades de gestión, al ser completamente liberalizado, ha entrado en una carrera loca en la que los gestores tienen que hacer un montón de cosas todos los días y no atienden al conocimiento. En ese no atender al conocimiento, tú tienes que dar unos "flash" muy rápidos para transmitir unas ideas y esos "flash" no pueden ser exagerados porque sino la discusión empieza en ese extremo de si has exagerado o no. Entonces puede que el consumo sea mayor que éste, pero éste lo asume todo el mundo y ya éste es dramático. Con lo cual, mi planteamiento, que es necesario trabajar en desarrollar otras cosas, entre ellas las renovables, se lo tienen que tomar en serio ya. Curiosamente este mundo muy rápido, se está introduciendo cosas que van en contra de ello.

The Electrical Power Research Institute de Estados Unidos, institución dentro de un sector empresarial grande y consolidado y por tanto no tachada de nada no políticamente correcto, ha hecho una llamamiento dramático hace unas semanas, en el cual dice, que el sistema de investigación de Estados Unidos, pero detrás el de todos los países, ha reducido un tercio la aplicación de fondos a la investigación energética en la última década. Esa reducción de fondos, es muy problemática ante situaciones como ésta. Cada uno tiene que ver cómo las resuelve, pero desde luego sin tecnología no se van a resolver y no se está gastando dinero en investigación.

Carlos Muñoz (Dpto. de Física Teórica de la UAM): En tu opinión ¿hubiera sido necesario usar centrales nucleares en estos últimos veinte o treinta años?, porque ahora las están empezando a dismantelar; si hubiéramos usado el petróleo, etc. que al fin y al cabo vamos a seguir usándolo otra vez de nuevo? Porque se nos han vendido, que las centrales nucleares fueron necesarias porque había falta de combustible, etc. y se estuvieron usando durante veinte o treinta años, ahora sin embargo se están dismantelando, se nos dice que ya no hacen falta. ¿Es cierto que realmente las necesitábamos?

Respuesta de Emilio Menéndez: Lo puedes mirar de varias maneras, una de ellas es que todas las centrales nucleares que se han hecho en el mundo, en particular en nuestro caso, siete mil megavatios, han ahorrado una parte de petróleo, pero han introducido otros problemas. Han ahorrado en nuestro caso una tercera parte de esta tercera parte, la eléctrica, han ahorrado la décima parte de la energía total que consumimos. La inversión en centrales nucleares, si alguien de una manera totalmente planificada, la hubiera utilizado en ahorrar energía, se hubiera ahorrado más. Nosotros podemos ahorrar el 30% de la energía que consumimos, simplemente con que una gran empresa en una instalación que tiene de un gran ventilador, tenga un variador de velocidad y no lo tiene. O bien simplemente con que los sistemas lumínicos de la mayoría de las instalaciones sean de otro tipo.

Aparte del fomento de las renovables, nos está faltando una utilización muy fuerte de estos recursos económicos que tenemos, en ahorrar energía. Lo cual se une también a otra cosa, una cultura de que la energía debe ser algo más cara de lo que la estamos pagando. Yo sí recuerdo en el pueblito donde yo me crié de pequeño, que mi madre decía “niño apaga la luz que me cuesta” y ahora no se dice. Lo mismo hasta en esta sala es difícil apagar la luz de atrás que no sirve para nada. Porque hay ciertos edificios “inteligentes” en los que no se puede apagar la luz por áreas. Esa cultura de ahorro es muy importante y con el dinero de construir el sistema nuclear, se hubiera podido forzar a ahorrar ese 30% de energía.

Cintya Rodríguez (Psicóloga, de la Escuela de Formación de Profesorado): Cuando no somos muy ricos, lo que hay que fomentar es la investigación fundamental y la básica, que es la que realmente genera riqueza: Me gustaría saber en qué punto está esto en relación a las nuevas alternativas, ya que si he comprendido bien me parece que es algo que hay que potenciar; además, deberíamos pensar qué formas disuasorias podríamos pensar para decirle al público que a lo mejor habría que utilizar bastante menos cosas contaminantes como es el coche, y se me está ocurriendo, que por ejemplo, cosas de las que se podría hablar es del interés de utilizar el transporte público, porque por ejemplo en una ciudad como Madrid, son lugares útiles y además muy divertidos, sobre todo la línea 1.

Respuesta de Emilio Menéndez: Yo tomo la línea 7 y la 2 del Metro. Tienes toda la razón. Lo que pasa es que ese cambio de alguna manera introduce cuestiones que no son fáciles de abordar y que tampoco se quieren abordar. En España el 12% de la población laboral depende del automóvil y somos un país con paro. Introducir transformaciones implica otras cosas, y deberían introducirse. Hay que pensar en la contaminación urbana y en el derroche de energía.

Respecto a la primera parte de tu pregunta, sobre el tema de las renovables, te he de decir que nosotros, como país, estamos viviendo o vivimos desde hace aproximadamente unos quince años, un desarrollo fuerte de las energías renovables en la medida por ese esquema tarifario que favorece las energías renovables desde hace una década o algo más. Es por lo que se ha hecho bastante investigación, había fondos antes destinados a investigación renovables, en concreto en el área energética, todo el mundo pagaba un 0'3% de su recibo destinado a investigación y era un pago regulado que permitía un desarrollo importante de investigación. Ese pago se suprimió a partir de 1997.

Nosotros en la escala industrial del mundo, somos 1% de promedio, si miramos la producción de acero, si miramos la producción de fertilizantes, de papel, etc., somos el 1% siendo algo así como el 0'6% de la población mundial, estamos un doble de la media del mundo en desarrollo industrial. En cambio en las energías renovables estamos participando entre el 6 y el 10% depende del tipo de energías. Tanto en la fabricación de equipos como en implantación de instalaciones. Por ejemplo en fotovoltaica, se produce el 8% de los paneles fotovoltaicos del mundo en España; al lado de Madrid, en Alcobendas, se produce la mitad de esos paneles fotovoltaicos. Eso indica una cosa, que ese trabajo en general, ha sido positivo, que además nosotros tenemos condiciones para que las renovables se nos desarrollen, tenemos una superficie amplia, tenemos viento, sol, capacidad tecnológica e industrial, etc. Tenemos capacidades científicas y tecnológicas muy importantes en el país, concretamente luego nos hablará Jesús del tema de biomasa, como una de las personas prominentes en la energía renovables desde hace unos cuantos años. También tenemos industria, porque para lo que se adapta una empresa española, es para ser pequeña y mediana industria. Yo he trabajado hace treinta años en una pequeña industria, y era relativamente lógica su gestión. Después he vivido en una industria algo más grande, pero que a nivel mundial no era muy grande, y todavía era medianamente lógica la gestión. Y lo que yo noto es que, cuando nos hacemos empresas muy grandes con el individualismo que tenemos y otras cosas, la gestión ya no funciona. Soy un creyente de la pequeña y mediana empresa en este país y las renovables son la pequeña y mediana empresa.

Luis Herrera (Profesor Titular del Dpto. de Química): Hay una cuestión muy breve que no me ha quedado muy clara en una frase que has dicho, yo creo con un cierto tono irónico, pero no la acabo de comprender; ¿Cómo va a afectar a España esa especie de carrera, un poco alocada, de liberalización del sector energético a breve plazo?. Aparte de los aspectos políticos, y económicos ¿Se prevé una menor inversión en investigación tecnológica en concreto?

Respuesta de Emilio Menéndez: En concreto no es que se prevé, es que ya está. Todas las empresas eléctricas de Europa, han desmontado sus sistemas de investigación. La CGB (Central Generating Board) de Gran Bretaña tenía unas mil quinientas personas y han desaparecido en su labor de I+D. La italiana ENEL está cerrando su investigación y nosotros que aquí funcionábamos en una especie de red con universidades, con empresas, con institutos, también estamos bajando muchísimo. La investigación está bajando drásticamente, en todo el sector eléctrico mundial, como aquí. Pero uniéndolo a esta ironía mía y esta primera parte, si yo como país dependo del exterior en las tres cuartas partes del suministro de energía, mi principal problema no es el precio sino la seguridad del suministro.

Las empresas energéticas deben, desde mi punto de vista estar reguladas para que garanticen la continuidad de suministro. Si una empresa sólo es el valor de la acción, yo mañana, si fuera presidente de una empresa energética, puedo encontrar razonable cambiar a telecomunicaciones, porque el valor de la acción va a subir, y no obligarme sola a garantizar un suministro. Si yo, como país, además me abro y hago que entren dos, tres o cuatro empresas extranjeras gasistas, van a entrar, y les es muy fácil, y mañana pueden poner en dos o tres sitios de la Península, una gran central de ciclo combinado con gas. Pero esa empresa no es responsable dentro de quince años que haya potencia instalada o no, si los números no le salen, cierra y se van.

Existe un agravante añadido, nosotros tenemos una deuda en el sector eléctrico, en concreto del orden de treinta pesetas por kilovatio-hora que generamos. La deuda que hay en Francia, está alrededor de unas quince pesetas por kilovatio-hora que genera. La deuda que hay en Alemania está alrededor de las tres o cuatro pesetas por kilovatio-hora que generan. En ese sentido, para nosotros el que venga el gas, que tiene una inversión específica muy baja, nos viene muy bien como empresas, y como balance económico del país. Ahora si de repente el gas sube de precio o si la demanda se distorsiona de otra manera ¿de dónde sacamos dinero para hacer las grandes inversiones que supone una central nuclear o una central de carbón? Y además si el sistema está liberalizado cómo lo haces. Si yo hago una central de gas que me cuesta treinta mil millones de pesetas, dentro de una gran empresa, si luego me funciona mal o no me funciona, el riesgo es pequeño. Pero si una central nuclear que me cuesta setecientos mil millones de pesetas, y no la puedo poner a subastar energía, alguien me tiene que garantizar que durante los ocho años que he estado construyendo la nuclear, se me va a comprar la energía, y se me va a reconocer la inversión, si no, no la voy a hacer. El sistema lo que ha aprobado es, usted hace la inversión a su riesgo y por lo tanto en el sistema energético que es vital, la decisión de un fuerte nivel de liberalización a mí me parece errónea.

Hemos copiado la política inglesa, que tiene otros condicionantes completamente distintos. ¿Por qué Francia se niega a entrar en el sistema liberalizado con todas sus consecuencias? Porque sabe que su sistema nuclear no es válido en ese sistema liberalizado. Francia que lo primero que considera es el Estado, desde aquel rey que dijo "L' Etat c'est moi". Aquí nos hemos basado en decir, hemos entrado en Europa y Europa me obliga a un montón de cosas. No, "Europa pone unos condicionantes y yo me he pasado de listo y soy más papista que el Papa".

*Jesús Lizcano: Vamos a escuchar a continuación al siguiente ponente del Seminario, que es **D. Carlos Alejaldre Losilla**. Carlos es Director del Laboratorio Nacional de Fusión por confinamiento magnético, en el CIEMAT. Es presidente además del Comité Europeo para Tecnología de Fusión. A nivel personal es Doctor en Ciencias Físicas por el Instituto Politécnico de New York, donde trabajó como profesor hasta su regreso a España. Ha publicado numerosos trabajos de investigación y divulgación en las revistas internacionales más prestigiosas, y ha impartido múltiples conferencias sobre la fusión nuclear, con lo cual tenemos la suerte y la garantía de que es de las personas más conocedoras de este tema, a tanto nivel nacional como internacional.*

Carlos Alejaldre Losilla:

Después de las intervenciones que me han precedido, la mía deberá ser entendida en un contexto totalmente diferente, ya que mi principal interés va a residir en mostrar el estado de las investigaciones en marcha de una fuente de energía todavía por desarrollar, pero con una gran capacidad para satisfacer las previsibles demandas de electricidad de la Humanidad.

No deja de ser interesante que en este Seminario se haya ligado la fusión a las energías renovables. En una primera aproximación Fusión no parece tener mucho que ver con estas fuentes de energía. Quizá el único punto en común es su carácter de “fuente del futuro”, aunque incluso en este punto puede argumentarse con toda justicia que la fusión no tiene el grado de desarrollo como fuente útil de energía que tienen Renovables como biomasa, eólica o solar. Pero por otra parte, y con un ánimo totalmente provocador, es también justo decir que a la fusión se le podría dar el título de “Madre de todas las renovables” ya que al fin y al cabo estas energías se basan en el aprovechamiento, de una manera u otra, de la energía que nos llega de la estrella más cercana a nuestro planeta, el Sol, que no es nada más que un natural y gigantesco reactor de fusión a ciento cincuenta millones de kilómetros.

Cuando hablamos de fusión, estamos sin duda hablando de un proceso nuclear y por lo tanto mencionando una palabra, nuclear, considerada actualmente casi como “maldita” en nuestra sociedad, por lo que la polémica es prácticamente inevitable. Pero no debemos perder de vista que lo que la palabra quiere decir simplemente es que la fusión es un fenómeno que sucede en el núcleo de los átomos, como muchos otros, podríamos añadir. De hecho, la fusión es el proceso diagonalmente opuesto al sistema tradicional de producción de energía mediante procesos nucleares, es decir, a la fisión. La fisión, como la propia palabra indica, es el proceso de ruptura de un núcleo (pesado como Uranio o Plutonio) para producir dos núcleos más ligeros y liberar energía, mientras que la fusión lo que intenta conseguir es unir dos núcleos (ligeros como el hidrógeno) en uno más pesado (típicamente Helio).

Lo cierto es que tanto en un proceso como en el otro, utilizamos el principio que descubrió Albert Einstein cuando demostró que era posible realizar una conversión de masa en energía. Sucede en la naturaleza que al unirse los núcleos de dos partículas muy ligeras, como pueden ser variedades del hidrógeno, la masa del elemento resultante es inferior a la suma de las masas de los elementos originales. Esa diferencia de masa, muy pequeña, multiplicada por un valor tremendamente elevado como es la velocidad de la luz al cuadrado, nos suministra el valor de la energía liberada. La predicción por tanto de la teoría de Albert Einstein es que, en principio, se puede producir grandes cantidades de energía de cantidades de combustible muy pequeñas.

De la realidad experimental de esta revolucionaria teoría es difícil sustraerse: El Sol lleva ya miles de millones de años utilizando estos procesos para producir la energía que nos llega de una manera estable y puntual a la superficie de nuestro planeta haciendo posible la vida misma.

Sin embargo reproducir de forma eficiente en el laboratorio lo que sucede en el interior de nuestra estrella no es una tarea sencilla. Para empezar, la reacción fundamental del Sol: unión de hidrógeno para producir Helio, no es energéticamente rentable en la escala terrestre y es necesario recurrir a la fusión de otras variedades de Hidrógeno: deuterio y tritio. El Deuterio es una forma de Hidrógeno natural que se encuentra en el agua en grandes cantidades, pero el Tritio es una forma inestable, radioactiva, de Hidrógeno cuya vida media es ligeramente superior a los doce años, por lo que no existe en la Naturaleza en cantidades apreciables y es necesario fabricarlo, aunque afortunadamente podemos producirlo dentro de la propia cámara de reacción donde será consumido. El producto final de la reacción es un núcleo de Helio, elemento inerte por definición, que es acompañado por un neutrón de alta energía, que desgraciadamente, al colisionar con los elementos estructurales del reactor, puede hacer que se modifiquen sus propiedades, complicando la tecnología que tenemos que desarrollar, para que las características de los materiales no se alteren sustancialmente. Por si esto fuera poco, para que un número suficiente de reacciones se produzca y exista una ganancia neta de energía, es necesario llevar el combustible a una temperatura de al menos ¡cien millones de grados!. A pesar de todas estas dificultades y aunque parezca difícil de creer, es precisamente el hecho de que la fusión del deuterio y el tritio se produzca a esta temperatura tan “pequeña” lo que ha decidido concentrar los esfuerzos investigadores en esta reacción para su utilización en la primera generación de plantas de fusión productoras de electricidad. Existen otras reacciones de fusión que no utilizan tritio o no producen neutrones, pero son mucho más difíciles de obtener y las dejaremos para las siguientes generaciones de reactores.



D. Carlos Alejandre Losilla

¿Por qué se está haciendo tanto esfuerzo en desarrollar la fusión?. Una de las razones fundamentales es su potencial como fuente productora de energía. Como ejemplo baste decir que con tan solo 25 gramos de este combustible se puede generar toda la energía que una persona cualquiera va a necesitar en un país desarrollado a lo largo de toda su vida, lo que da una idea de su tremenda potencia. Analicemos donde están las dificultades que han impedido hasta ahora su materialización: Conceptualmente el problema es sencillo: queremos unir dos núcleos (Deuterio y Tritio) para producir

un tercero (Helio). El problema es que estos dos núcleos tienen la misma carga eléctrica y por lo tanto cuando los pretendemos acercar para conseguir su fusión, se ven sometidos a una fuerza de repulsión más intensa cuanto más cerca se encuentran y solamente cuando somos capaces de romper esta barrera, las fuerzas nucleares de atracción actúan y la fusión se produce. La única manera que sabemos actualmente de producir ese acercamiento, de romper la barrera repulsiva, es mediante calentamiento. Calentando, comunicamos energía a nuestras partículas y la probabilidad de que se produzca en un choque de las mismas una reacción de fusión, va aumentando con la temperatura (hasta un cierto límite). Pero como mencionábamos hace tan solo un momento, para que un número suficiente de reacciones se produzca y todo el proceso tenga una ganancia neta de energía, es necesario calentar el combustible a cien millones de grados. El problema que surge inmediatamente es ¿dónde colocamos un combustible a esta temperatura?. Por un lado no existen materiales capaces de soportar esas temperaturas y por otro, incluso más importante desde el punto de vista de la fusión, es que si tenemos un combustible a cien millones de grados y lo ponemos en contacto con un material que está a una temperatura inferior, el proceso natural es que el combustible se enfríe e inevitablemente las reacciones de fusión se dejan de producir. Por ello el problema que tenemos que resolver no es el encontrar materiales que resistan esas temperaturas sino descubrir un método que nos permita aislar el combustible de su entorno mientras se produce la fusión.

Métodos de confinamiento de la fusión

Por ahora, solamente se han descubierto dos métodos capaces de ser aprovechados para la producción de energía: el confinamiento magnético y el confinamiento inercial. Existe una tercera vía que es la elegida por nuestro Sol y que se basa en utilizar la fuerza gravitatoria de sus 10^{30} Kg, pero no parece viable en nuestro planeta.

El confinamiento inercial de la fusión intenta recrear en una escala milimétrica las mismas ideas que hacen realidad las explosiones termonucleares. En una esfera de escasamente un milímetro de diámetro se concentra una gran cantidad de energía, con la ayuda de un láser o un acelerador, que conduce rápidamente a una parte del combustible a las condiciones adecuadas para que la fusión se produzca. Todo el proceso es tan rápido que de alguna manera el combustible reacciona antes de enterarse que está siendo desintegrado y de ahí el nombre de confinamiento inercial.

A nivel mundial, el método que está siendo desarrollado más intensamente, con la aplicación energética como objetivo fundamental, es el confinamiento magnético. Este método se aprovecha de otra propiedad de la Naturaleza que consiste en que la materia cuando se ve sometida a esas temperaturas tan elevadas, se encuentra en un estado muy peculiar en el que ya no existe una ligadura atómica entre núcleos y electrones, sino que se produce una “mezcla” de partículas con cargas positiva y negativa. Este estado en el cual está el 99% del Universo observable es lo que llamamos plasma. Podríamos decir que el plasma es la culminación de un proceso de calentamiento que nos conduce desde el estado sólido al líquido, de éste al gaseoso y continuando el calentamiento al plasma.

Unas de las propiedades de la materia cuando se ve sometida a campos magnéticos es que las partículas con carga eléctrica solamente pueden moverse en la dirección del campo magnético y no pueden hacerlo en la dirección transversal a este campo magnético. Si conseguimos diseñar una “trampa” donde este campo magnético esté confinado, habremos conseguido generar una “botella magnética” en la cual nuestro plasma, nuestro combustible, estará encerrado y aislado de su entorno. Una vez conseguido solo tenemos que calentarlo y obtener la energía de fusión. Toda la investigación en este campo persigue el diseño de la mejor botella magnética y su optimización.

El esquema de una planta productora de electricidad utilizando fusión es relativamente sencillo, como se muestra en la figura. Potentes campos magnéticos confinan una carga inicial de Deuterio y Tritio que al ser calentados reaccionan produciendo Helio y un neutrón, el Helio es extraído de la cámara de reacción y el neutrón, que no tiene carga eléctrica, no se ve confinado por los campos

magnéticos yendo a depositar la energía que acarrea en un “manto fértil” de Litio que rodea la cámara. La reacción del Litio con el neutrón producirá Tritio que volverá a ser introducido en la cámara de reacción para su quemado, cerrando el ciclo. El calentamiento inducido en el manto fértil será aprovechado para producir en un ciclo convencional la producción de vapor, que introducido en una turbina generará la electricidad.

Por lo tanto en realidad nuestro combustible será Deuterio y Litio, ambos con suficientes reservas en la Naturaleza como para poder satisfacer la demandas energéticas de la Humanidad durante millones de años. El residuo final será Helio, gas inerte que colocamos en los globos los niños.

Naturalmente el problema es mucho más complejo de lo que este simple esquema indica y en particular como ya fue mencionado anteriormente una de las dificultades tecnológicas que tiene la fusión es la producción de neutrones altamente energéticos en el interior del reactor. El neutrón que en el esquema aparece viajando en línea recta hasta depositar su energía en el manto fértil calentándolo y produciendo Tritio, tiene antes que atravesar toda una serie de materiales que forman las paredes y estructuras y que al ser golpeados por ese neutrón pueden ver modificadas tanto sus propiedades mecánicas como sus propiedades radioactivas, pudiendo pasar de ser un material no radiactivo a ser un elemento activo. El programa de desarrollo tecnológico dedica una parte importante de sus esfuerzos a investigar y producir materiales que minimicen o supriman este efecto .

Estrategia del Programa de Fusión

La pregunta que quiero intentar responder en los próximos minutos es : ¿Qué es lo que se está haciendo para llegar a materializar el esquema que mostraba hace unos momentos?. Lo cierto es que el esfuerzo investigador en este campo es muy importante, sobre todo en Japón y Europa y en menor medida por diferentes motivos en Rusia y Estados Unidos. Europa, en mi opinión el líder indiscutible en este campo, tiene una estrategia muy definida que pasa por la consecución de varios hitos: demostrar la viabilidad científica de la fusión, la viabilidad tecnológica y la económica. Cada una de estas demostraciones se basa en la construcción de al menos un prototipo que lo demuestre. El primer hito, demostrar que es posible confinar y generar energía de procesos de fusión por medio del confinamiento magnético se realizó en la instalación Europea JET (Joint European Torus). Hace ya tres años, en esta instalación se generaron de forma controlada 16 millones de vatios (térmicos) demostrando la viabilidad científica de la fusión. Si bien es cierto que para conseguir calentar y mantener el proceso se invirtieron unos 23 millones de vatios, pero como digo el objetivo no era hacer el proceso eficiente sino demostrar su viabilidad conceptual.

Precisamente, la demostración de que existe una tecnología capaz de producir más energía de la que es invertida para conseguir la fusión, o lo que es lo mismo, la demostración de la viabilidad tecnológica, correrá a cargo de la instalación ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor). Este proyecto, cuyo diseño final está siendo llevado a cabo en una colaboración sin precedentes entre Rusia, Japón y Europa, deberá producir un mínimo de 400 millones de vatios térmicos, utilizando únicamente 10 megavatios como alimentación. La inversión estimada para su construcción es del orden de 4.000 millones de Euros y podría estar en funcionamiento en el año 2012.

El siguiente paso será demostrar que es posible construir una planta productora de electricidad que genere el kWh a un precio razonable: la viabilidad económica. Aunque este hito todavía tiene que esperar.

Estado de la Investigación en Fusión

Muchas veces, cuando se habla de la fusión se dice que el tiempo que falta por conseguirla es una de las cantidades que mejor se conservan en la física moderna y aunque como en toda caricatura

siempre hay algo de verdad, también refleja una gran injusticia con los logros realizados recientemente en este campo.

Analícemos qué parámetros de plasma necesitamos para conseguir la fusión y cuales son los conseguidos.

- La temperatura de nuestro plasma en un reactor deberá estar entre los 100 y los doscientos millones de grados: mientras que en los años 70 escasamente se había llegado a unos pocos millones y en los ochenta a unas decenas de millones, en este momento se han conseguido temperaturas de hasta de 450 millones de grados.
- Para que el proceso sea eficiente también es necesario que seamos capaces de confinar plasmas cuya presión sea del orden del 5% de la presión que ejercen los campos magnéticos. En los 70 y 80 escasamente se llegó a al 2-3 %, mientras que el valor máximo alcanzado en estos momentos es del orden del 40%
- También es necesario mantener la unidad de energía confinada dentro de nuestro sistema un tiempo mínimo, que en un reactor se estima entre 1 y 2 segundos. De milésimas de segundo hace tan solo unos años hemos pasado a 1.8 segundos.

Todos los parámetros necesarios para hacer de la fusión una realidad como fuente de energía se han conseguido, ¿como es entonces que todavía no disfrutamos de esta fuente para producir electricidad? La respuesta es muy sencilla, si bien es cierto que las magnitudes han sido alcanzadas, no lo es que lo hayan sido simultáneamente en el mismo dispositivo. Diferentes prototipos son diseñados y construidos para alcanzar metas determinadas pero no todas a la vez. El parámetro que en fusión nos indica el progreso global es el número que resulta de multiplicar la densidad de plasma que somos capaces de confinar por el tiempo que mantenemos la unidad de energía confinada y la temperatura a la que se produce el confinamiento. Pues bien en los últimos veinte años hemos multiplicado este número por 10.000 y nos encontramos a un factor inferior a 5 del necesario para construir un reactor. ¡ITER será quien deba conseguirlo!.

La Fusión en España

Supongo que una de las conclusiones que sacarán de mi intervención será que la investigación en fusión necesita de unas inversiones importantes, avanzada tecnología, grandes recursos humanos...es decir todo aquello que caracteriza a los grandes proyectos, por lo que podría pensarse que es un área en la que nuestra participación es más bien pequeña. Nada mas lejos de la realidad y podemos decir con orgullo que contamos en Madrid con una de las instalaciones de fusión más competitiva del mundo, al menos dentro de una de las grandes familias de prototipos de fusión que llamamos Stellarators: el Heliac Flexible TJ-II. Esta instalación está en funcionamiento desde 1998 en el Laboratorio Nacional de Fusión del Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), y está totalmente integrada dentro del Programa de Fusión Europeo a través de una Asociación con EURATOM. Su explotación ha sido declarada prioritaria en el actual Plan Nacional de Investigación y está considerada entre las tres más avanzadas de su clase, junto a las existentes en el Instituto Max-Planck de Munich y en el NIFS (National Institute for Fusion Science) de Nagoya, Japón. Un equipo de cien personas de los cuales aproximadamente 60 son titulados superiores llevan a cabo su explotación científica y tecnológica.

Uno de los elementos que no podemos olvidar, aunque sea marginal en cuanto al objetivo del seminario, cuando estamos hablando de grandes proyectos de este tipo, es su capacidad de motor tecnológico y TJ-II no es una excepción ya que a pesar de que todos los contratos de construcción de componentes de TJ-II se realizaron en abierta licitación Europea, del orden del 60% de los contratos de construcción de este dispositivo, revertieron a empresas españolas. Además, teniendo en cuenta que

fue considerado proyecto prioritario por la Unión Europea y por lo tanto el 45% de su financiación fue realizado por EURATOM, podemos decir incluso que España obtuvo un pequeño beneficio económico construyendo TJ-II.

Para terminar, me gustaría insistir en unas pocas conclusiones sobre la fusión que espero se lleven con ustedes como resultado de mi intervención: 1) La viabilidad científica de la fusión está probada, se han conseguido 16 megavatios en JET, todavía tenemos que probar la tecnológica y la económica, pero este importante paso ya se ha conseguido. 2) El programa europeo, realmente es el líder mundial en la investigación en fusión y todavía ofrece múltiples oportunidades. 3) Es absolutamente necesario que demos el siguiente paso y que se construya el proyecto ITER. 4) Tenemos en el CIEMAT, a disposición de la comunidad científica nacional, una instalación, el TJ-II, catalogada como "gran instalación científica" por las autoridades correspondientes, que es una parte muy importante de la estrategia europea de fusión e incluso de la estrategia mundial en el campo de los Stellarators.

Realmente fusión puede ser la fuente de energía inagotable del futuro. Su capacidad de producir energía es tal que incluso cuando dentro de cinco mil millones de años nuestro Sol haya quemado suficiente combustible para producir una expansión de su esfera y amenace la supervivencia del propio planeta Tierra, probablemente todavía el Hombre podrá acudir a las reservas de fusión como fuente energética para escapar de este sistema Solar y buscar otro hogar (aunque creo que aún podemos esperar un poco para preocuparnos por este problema).

Conclusiones:

A continuación se recogen las siguientes Conclusiones generales de esta intervención:

- El progreso científico y tecnológico en el campo de la fusión en la última década ha sido muy importante. El programa Europeo de Fusión es el líder mundial.
- 16 Millones de Vatios fueron generados en el prototipo experimental Europeo JET utilizando procesos de fusión, demostrando la viabilidad científica de esta fuente de energía.
- El diseño de una instalación capaz de generar 400 Millones de Vatios ha sido finalizado y sólo espera la decisión política de ser construido. Esta instalación deberá probar la viabilidad tecnológica de la fusión.
- El proyecto Español de Fusión, el Helic Flexible TJ-II, declarado "Gran Instalación Científica Española", ha situado a nuestro país en la primera línea de la investigación en este campo.
- Fusión puede ser la fuente de producción de energía eléctrica inagotable, potente y medioambiental segura del futuro.

Francisco Martínez González-Tablas (Dpto. de Química de la UAM): Me interesaría conocer el coste del TJ 2.

Respuesta de Carlos Alejaldre: El presupuesto aprobado por EURATOM para la construcción de TJ-II fue de 32,2 millones de Euros, es decir aproximadamente cinco mil millones de pesetas. En este presupuesto se incluye su fuente de alimentación y sistema de calentamiento. El proyecto fue declarado prioritario por parte de EURATOM y recibió por tanto un 45% de financiación a cargo de este organismo. Para conseguir la declaración de "prioritario" fue necesario realizar un largo proceso, durante el cual, primero, un grupo de expertos europeos analizaron el interés científico del proyecto, una vez satisfechos y tras presentar un diseño detallado de TJ-II, otro grupo de expertos del programa europeo de fusión analizó su viabilidad técnica así como el coste de todos los componentes. Los informes que estos grupos realizaron fueron discutidos en los diferentes comités técnicos del programa hasta que fue finalmente declarado prioritario. El proceso duró aproximadamente tres años.

Francisco Martínez: ¿Qué coste implica de mantenimiento anual?

Respuesta de Carlos Alejaldre: El coste que tenemos de mantenimiento y operación anual, incluyendo absolutamente todos los sistemas y todo el personal, oscila entorno a los 1.500 millones de ptas.

Donato Fernández-Navarrete (Catedrático de Estructura Económica de la UAM): He escuchado con mucha atención las dos últimas intervenciones, una pesimista y otra optimista. Tengo una sensación ambivalente, y quería preguntar dos cosas ¿Cuándo podremos contar con la fusión de una manera realista, que pueda ser viable?, y una segunda cuestión: Este proyecto de que usted nos ha hablado, que se está desarrollando en España y que está financiado por EURATOM ¿es consecuencia del ingreso de España en la Unión Europea, o ya existía el proyecto anteriormente y nos hemos beneficiado posteriormente de los recursos comunitarios?

Respuesta de Carlos Alejaldre: Respecto a la primera pregunta sobre el plazo temporal que contemplamos para la materialización de la fusión como fuente de energía, la respuesta es difícil. Todavía tenemos que demostrar la viabilidad tecnológica, mediante la construcción de ITER, que es un proyecto complejo. El plazo estimado de construcción de esta instalación es de diez años, y el plazo de explotación tecnológica es aproximadamente de otros quince años. Por lo cual, estamos hablando que dentro de veinticinco años, tendremos resultados fiables sobre la viabilidad tecnológica. Y si entonces comenzamos a pensar en demostrar la viabilidad económica, debemos concluir que necesitamos al menos cincuenta años para que la fusión pueda empezar a contribuir a resolver el problema energético.

Con respecto a la segunda pregunta, este proyecto ha sido uno de los que se ha beneficiado directamente de la entrada en la Unión Europea. De hecho el proyecto fue presentado inmediatamente después de que España entrara en la Unión Europea en el año 1986. Había ya conversaciones previas, pero esa asociación entre el CIEMAT y EURATOM para un proyecto de esta magnitud solo podía darse dentro de la Unión Europea.

Pregunta de una asistente ¿La fusión nuclear es *medioambientalmente pura*?

Respuesta de Carlos Alejaldre: No creo que exista nada que sea medioambientalmente puro. Nuestra mera existencia ya ejerce un impacto en el medioambiente y por lo tanto cualquier actividad que realicemos de tipo industrial o técnica tendrá un impacto con mayor motivo. Los que trabajamos en fusión estamos convencidos que fundamentalmente tal y como lo vemos ahora mismo, el impacto medioambiental de la fusión es y será aceptable. Recordemos que el proceso de fusión no genera ningún tipo de residuo radioactivo y es segura de forma intrínseca ya que cualquier desviación de las condiciones óptimas termina con el proceso. Pero sin duda tiene sus problemas asociados, como he mencionado en mi intervención, y estos están en su mayoría relacionados con la existencia de ese neutrón del que hablábamos hace unos minutos, que puede activar los materiales a los que golpea. Las investigaciones realizadas indican que con materiales ya existentes, al cabo de sesenta años el nivel de activación de los materiales utilizados en la construcción será similar al producido por una central eléctrica que quema carbón y por lo tanto totalmente reciclables. Además debe añadirse que existen reacciones de fusión que no producen neutrones y que por lo tanto no tendrán este problema de activación inducida, aunque su desarrollo exija unos avances tecnológicos aún más importantes. Pero evidentemente una gran instalación produciendo 1.500 megavatios en un lugar localizado tiene un impacto no solo medioambiental sino social.

Pregunta de Jesús Lizcano: ¿Podría haber una cierta correlación negativa en cuanto a que si se destinara, por ejemplo, el doble o el triple de recursos económicos, ello podría conllevar una disminución del tiempo necesario para obtener su viabilidad?; esto es, en el fondo: ¿Es una cuestión de *dinero* el plazo para la viabilidad de la fusión nuclear?

Respuesta de Carlos Alejaldre: Estoy seguro que el plazo de cincuenta años del que he hablado antes se puede reducir, aunque debo decir que no sería una tarea fácil. Las instalaciones prototipo como ITER son complejas y los plazos de construcción son bastante rígidos. Tomando como ejemplo TJ-II, un dispositivo relativamente sencillo comparado con ITER, necesitó cinco años para su construcción. Pero es cierto que con una voluntad mayor (mayores inversiones) estos plazos se podrían reducir. Sin ir más lejos, antes de este diseño de ITER, hubo otro más ambicioso para construir un prototipo de 1500 MW cuyo diseño fue terminado en 1997 y no ha llegado a materializarse por considerar los socios de entonces EE.UU., Rusia, Japón y Europa que 10.000 Millones de Euros era demasiado dinero. Es un problema muy ligado a decisiones políticas ya que al fin y al cabo es dinero público el que se emplea y sin duda el nivel de inversiones está también unido a la percepción social de la existencia (o no) de un problema energético.

Comentario de un asistente: Si tenemos una materia prima, que parece muy abundante y relativamente bien distribuida en todo el mundo, previsiblemente, esto podría dar lugar a una energía relativamente democrática y bien distribuida también. Sin embargo, parece que hay un proceso tecnológico que es muy complicado ¿Es posible que en un futuro la tecnología de la fusión origine un monopolio o un oligopolio energético?

Respuesta de Carlos Alejaldre: Realmente los dispositivos que ahora utilizamos son complejos en su construcción y en su operación. TJ-II utiliza un equipo del orden de veinte personas entre ingenieros y doctores/licenciados para operarlo. ITER necesitará un equipo mucho más numeroso. Tenemos que tener en cuenta que los dispositivos actuales son prototipos experimentales y por lo tanto confiamos que la complejidad operativa de las futuras Plantas productoras de electricidad disminuirá sustancialmente, pero sin duda esta es una tecnología compleja y es muy posible que al menos inicialmente solo sea realista su instalación en los países más desarrollados, entre los cuales debo decir que, afortunadamente (por su futuro impacto), incluyo a China e India que están realizando un esfuerzo considerable en este campo. La importante colaboración internacional que siempre ha existido en Fusión pretende entre cosas impedir precisamente la concentración del conocimiento en el desarrollo de esta tecnología, pero sin duda las dimensiones de las centrales eléctricas de fusión tal y como las concebimos ahora mismo llevarán consigo una concentración de recursos. En cualquier caso de lo que estoy convencido es que en el futuro necesitaremos el desarrollo e instalación de todas las formas de generación de electricidad, tradicionales mejoradas medioambientalmente, fusión, renovables, etc y la proporción correcta de cada una de ellas estará en función de las condiciones particulares socioeconómicas y geográficas de cada país.

Jesús Lizcano: El siguiente ponente que va a intervenir en el Seminario es **D. Jesús Fernández González**. *Jesús es Doctor Ingeniero Agrónomo, y además, Licenciado en Ciencias Biológicas. Empezó su trabajo de investigación en la antigua Junta de Energía Nuclear, en el tema de las Aplicaciones de los Radisótopos en Agronomía y concretamente en el estudio de la fotosíntesis y producción vegetal. Allí formó la División de Biomasa de la que fue responsable hasta su pase a la Universidad con dedicación exclusiva en 1985. Paralelamente ejerció la actividad docente en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid, donde obtuvo por oposición la plaza de Profesor Agregado de Fisiología Vegetal en 1978, para pasar posteriormente a Catedrático de Universidad en virtud de la LRU plaza que viene desempeñando desde entonces en la Universidad Politécnica de Madrid. Lleva más de 25 años trabajando en temas relacionados con la producción de biomasa con fines energéticos, habiendo dirigido numerosos proyectos de investigación, quince de ellos con financiación de la U.E.*

Jesús Fernández González:

Importancia energética de la biomasa

Es difícil, después de la brillante intervención de D. Carlos Alejalde sobre un tema tan puntero como es la energía de fusión, el hablar de biomasa, un tema tan antiguo y aparentemente tan conocido de todo el mundo. Tal vez para tratar de buscar un nexo de unión entre ambas energías, podríamos recordar que la energía contenida en la biomasa también procede en última instancia de un reactor de fusión, como es el Sol, cuya energía es irradiada al espacio y al captarla los vegetales por medio del proceso fotosintético, la acumulan en los enlaces que forman su biomasa.

De hecho el hombre ha venido utilizando esta fuente de energía desde la más remota antigüedad, ya que como sabemos, tanto la leña como el trabajo muscular del hombre y los animales, son diversas maneras de utilizar la energía de la biomasa. En la actualidad, la biomasa sigue siendo la principal fuente de energía de más de dos mil millones de habitantes, y a nivel mundial supone un 14,8% del consumo energético global, aunque con una proporción muy diferente en los diversos países (globalmente representa un 38% en los países en vías de desarrollo y un 2,8% entre los países industrializados

Es necesario desterrar la idea de que el pensar en utilizar la biomasa como fuente de energía, va a suponer retrotraernos a las situaciones de penuria energética de épocas pasadas o de retroceder a situaciones de subdesarrollo. Según se puede apreciar en la siguiente transparencia (*Tabla I*) a nivel de la Unión Europea, la participación de la biomasa en el balance energético global es de un 3,25%, con una distribución muy desigual de unos países a otros. Países como Finlandia, Suecia, Austria o Francia, están ya utilizando un buen porcentaje de su energía en forma de biomasa, mientras que en otros países como el Reino Unido, Bélgica o Luxemburgo la participación es todavía muy baja. En el caso de España, con 3,69% sobre el consumo global podemos decir que está ligeramente por encima de la media europea.

Tabla I.

Producción de energía primaria con biomasa y R.S.U en la Unión Europea. Datos referidos a 1995.

PAÍS	BIOMASA Ktep	R.S.U. Ktep	TOTAL	
			Ktep	% SOBRE CONSUMO ENERGÉTICO TOTAL
ALEMANIA	3328	1073	4401	1,30
AUSTRIA	3225	97	3322	12,34
BÉLGICA	329	142	471	0,93
DINAMARCA	835	560	1395	6,77
ESPAÑA	3574	187	3761	3,69
FINLANDIA	5056	12	5068	17,27
FRANCIA	9295	879	10174	4,36
GRECIA	1398	0	1398	5,69
HOLANDA	473	497	970	1,35
IRLANDA	161	0	161	1,46
ITALIA	3392	64	3456	2,14
LUXEMBURGO	16	23	39	1,19
PORTUGAL	2379	0	2379	11,82
R. UNIDO	599	344	943	0,46
SUECIA	6519	390	6909	13,90
TOTAL U.E.	40579	4268	44847	3,25

FUENTE: Adaptado de EUROSTAT. Valores en miles de toneladas equivalentes de petróleo (ktep)

Finalmente es interesante puntualizar que la biomasa, además de tener capacidad para generar energía eléctrica, puede suministrar combustibles sólidos, líquidos o gaseosos, que pueden contribuir a satisfacer, al menos en parte, las necesidades energéticas no eléctricas que en una proporción de dos tercios sobre el consumo total, tiene actualmente la Humanidad, como apuntó D. Emilio Menéndez en su intervención anterior.

La biomasa en el libro blanco de las energías renovables de la U.E.

Uno de los aspectos más importantes que puede tener la utilización de la energía de la biomasa, al igual que el resto de las energías renovables, es su influencia en la disminución del incremento de anhídrido carbónico en la atmósfera y por tanto la reducción del efecto invernadero que parece ser la causa directa del denominado “cambio climático”. Conscientes del problema que está suponiendo la combustión de enormes cantidades de carbono fósil y la consiguiente suelta de anhídrido carbónico a la atmósfera, los responsables políticos de los países desarrollados han intentado mitigarlo de diversas formas una de las cuales ha sido fomentando el desarrollo de las energías renovables.

Como parte de la política energética y medioambiental para los próximos años, la Comisión Europea, en su propuesta realizada en el “Libro Blanco de las Energías Renovables” (noviembre de 1997), trata de ordenar un plan de acción para conseguir que la participación de las energías renovables en el año 2010 pase a ser del orden del 12%, lo que representaría una producción global de 182 Mtep procedentes de las energías renovables, según se puede apreciar en la siguiente transparencia (Tabla II). Esto permitiría, entre otros aspectos positivos, reducir las emisiones de CO₂ en alrededor de 402 millones de toneladas al año.

Tabla II.
Incremento propuesto de las Energías Renovables en la UE para el año 2010 según el Libro Blanco de la Comisión.

TIPO DE ENERGÍA	CONTRIBUCIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN LA U.E.				INCREMENTO	
	1995		2010		2010 – 1995	
	Mtep	%	Mtep	%	Mtep	%
BIOMASA	44,80	60,3	135,00	74,2	90,20	83,8
HIDRÁULICA	26,40	35,5	30,55	16,8	4,15	3,9
EÓLICA	0,35	0,5	6,90	3,8	6,55	6,1
SOLAR TÉRMICA	0,26	0,3	4,00	2,2	3,74	3,5
FOTOVOLTAICA	0,002	0,0	0,26	0,1	0,26	0,2
GEOTÉRMICA	2,50	3,4	5,20	2,9	2,70	2,5
TOTAL	74,31	100,0	181,91	100,0	107,60	100,0

De entre todas las energías renovables es la biomasa la que ofrece las mejores perspectivas de crecimiento. Según las previsiones de la Comisión, reflejadas en la transparencia (Tabla II), el aporte actual de la biomasa (incluyendo los RSU), estimado en 44,8 Mtep debería pasar a ser de 135 Mtep en el año 2010, es decir un incremento de 90 Mtep, lo que equivale al 83,8 % del incremento global de las energías renovables. Según estos datos, la biomasa debería triplicar su contribución actual para lograr el objetivo propuesto.

Para conseguir alcanzar la producción de energía procedente de biomasa propuesta por el Libro Blanco (90 Mtep), la Comisión basa su estrategia en la siguiente distribución:

45 Mtep de cultivos energéticos.
 30 Mtep procedentes de residuos agrícolas y forestales
 15 Mtep procedentes de biogás

De la energía generada mediante cultivos energéticos 18 Mtep podrían ser en forma de combustibles líquidos (biocarburantes) y los 27 restantes en forma de biomasa lignocelulósica producida mediante cultivos energéticos de tipo leñoso o herbáceos, según las posibilidades de cada país. En conjunto la Comisión propone la utilización de un total de unos 10 millones de hectáreas de tierras agrícolas de la UE para esta finalidad, lo que supone un 7,1 % de las tierras potencialmente cultivables de la UE, cuya superficie global se estima en 141 millones de hectáreas. Según los datos que se presentan en la siguiente transparencia (*Tabla III*), el total de las tierras de cultivo de la UE es algo más de 87 millones de hectáreas, de los que 76 son tierras de labor, por lo que la propuesta de la Comisión supone la utilización de una superficie equivalente al 13 % de la que ocupan las tierras de labor de la UE.

Tabla III.

Superficies agrícolas de los países de la Unión Europea, según el anuario estadístico de la FAO de 1996.
 Valores en miles de hectáreas.

<i>PAÍS</i>	<i>TIERRAS DE LABOR</i>	<i>CULTIVOS PERMANENTES</i>	<i>TOTAL</i>
Alemania	11835	226	12061
Austria	1420	93	1513
Bélgica y Luxemburgo	723	17	740
Dinamarca	2326	2	2328
España	15335	4837	20172
Finlandia	2525	0	2525
Francia	18310	1183	19493
Grecia	2402	1083	3485
Holanda	881	35	916
Irlanda	1330	3	1333
Italia	8105	2663	10768
Portugal	2302	740	3042
Reino Unido	5928	43	5971
Suecia	2767	0	2767
TOTAL	76189	10925	87114

La biomasa en el Plan de Fomento de las Energías Renovables

Siguiendo las directrices del Libro Blanco de la Comisión, el Gobierno español introdujo en la Ley del Sector Eléctrico (Ley 54/1997 de 27 de noviembre), en su disposición transitoria decimosexta, el compromiso de que para el año 2010 se cubriera como mínimo el 12% del total de la demanda energética de España con energías renovables. Para lograr este objetivo, en la reunión del Consejo de Ministros del pasado 31 de diciembre de 1999, se aprobó el Plan de Fomento de las Energías Renovables, elaborado por el MINER a través del IDAE en el que se realizan una serie de propuestas concretas, representadas en la siguiente transparencia (*Tabla IV*). En conjunto se propone que para el año 2010 la energía que se consuma en España de origen renovable sea de 16,639 Mtep (millones de toneladas equivalentes de petróleo), con un incremento de 9,526 Mtep sobre la situación de 1998. De este incremento, el 74,4 % (7086 ktep) correspondería a energía obtenida de combustibles de origen biológico (biomasa) y el resto de las otras fuentes de energía renovable.

Dentro de la de biomasa, se consideran los biocombustibles sólidos para usos térmicos o producción de electricidad, los biocombustibles líquidos para transporte (etanol y bio diesel), el biogás para producción de electricidad y los residuos sólidos urbanos (RSU). En la siguiente transparencia

(Tabla V) se indica la estimación de la evolución del consumo de cada uno de estos combustibles según el Plan de Fomento de las Energías Renovables.

Según se puede apreciar en dicha transparencia (Tabla V), para el año 2010 se espera que la biomasa en sus diversas formas, participe en el balance energético nacional con un total de alrededor de 11 Mtep, siendo la bioelectricidad el componente más importante con 5,3 Mtep, seguido de los biocombustibles para usos térmicos con 4,4 Mtep y del bioetanol para automoción a más distancia (0,5 Mtep). Para conseguir estos niveles se debe producir principalmente un gran incremento en el uso de los biocombustibles para la generación de electricidad (5,1 Mtep de energía primaria) y calor (0,9 Mtep), además de los 0,5 Mtep de bioetanol.

Tabla IV.

Incremento propuesto de las energías renovables en España para el año 2010 según el Plan de Fomento de las Energías Renovables aprobado por el Consejo de Ministros el 31.12.99.

TIPO DE ENERGÍA	CONTRIBUCIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN ESPAÑA				INCREMENTO	
	1998		2010		2010 – 1998	
	Ktep	%	Ktep	%	ktep	%
BIOMASA	3.892	54,7	10.978	66,0	7.086	74,4
HIDRÁULICA	3.019	42,5	3.271	19,7	252	2,7
EÓLICA	172	2,4	1.852	11,1	1.680	17,6
SOLAR TÉRMICA	26	0,4	516	3,1	490	5,1
FOTOVOLTAICA	1	0,0	19	0,1	18	0,2
GEOTÉRMICA	3	0,0	3	0,0	--	--
TOTAL	7.113	100,0	16.639	100,0	9.526	100,0

Tabla V.

Incremento de las diversas formas de Energía de la Biomasa que se proponen para España en el Plan de Fomento de las Energías Renovables para el año 2010.

TIPO DE ENERGIA	1998		2010		INCREMENTO	
	Ktep	%	ktep	%	ktep	%
BIOELECTRICIDAD	169	4,3	5.269	48,0	5.100	72,0
BIOCOMBUSTIBLES (usos térmicos)	3.476	89,3	4.376	39,9	900	12,7
BIOETANOL	--	--	500	1,4	500	7,0
BIOGAS	--	--	150	6,2	150	2,1
RSU	247	6,4	683	4,5	436	6,2
TOTAL	3.892	100,0	10.978	100,0	7.086	100,0

Según las cifras anteriores, los componentes más importantes de la biomasa en cuanto a su aportación energética, para cumplir los objetivos previstos, son la bioelectricidad y el calor procedente de biocombustibles sólidos con una necesidad de incremento global de 6 Mtep que según el Plan de Fomento de las Energías Renovables se obtendrían a partir de residuos forestales (7,5 %), residuos de cultivos leñosos (5,8 %), paja y otros residuos de cultivos herbáceos (22,5 %), residuos de industrias agroforestales (8,3 %) y un 55,8 % de cultivos especialmente producidos para la obtención de biomasa lignocelulósica para fines energéticos (cultivos energéticos).

La Agroenergética como principal protagonista del Plan de Fomento de las Energías Renovables.

La gran innovación que presenta este Plan, al igual que la propuesta del Libro Blanco de la U.E., es el protagonismo que se concede a la Agroenergética, es decir, a la producción de energía por el sector agrario. Todo el plan descansa fundamentalmente en los cultivos energéticos, de los que se espera obtener 3,35 Mtep, para lo que se prevé la utilización de cerca de 1 millón de hectáreas de cultivo retiradas de la producción de alimentos. Vamos a analizar a continuación las principales objeciones que se realizan normalmente a este planteamiento y su fundamento real.

- A) *Balance de CO₂*. La biomasa al quemarse produce CO₂ al igual que los combustibles fósiles pero todo el CO₂ generado ha sido fijado previamente y está siendo a su vez fijado por los cultivos que están en crecimiento, por lo que el balance neto de producción de CO₂ en la atmósfera es por lo menos neutro, o más propiamente negativo, ya que una parte del carbono fijado por las plantas en el proceso fotosintético queda inmovilizado en el suelo en forma de materia orgánica (raíces y restos de tallos y hojas) o de carbono mineral producido por la decarboxilación de los ácidos orgánicos exudados por las raíces o por la mineralización de la materia orgánica.
- B) *Producción de residuos en la combustión*. Si bien la combustión de la biomasa puede producir cenizas, éstas se pueden utilizar como fertilizantes de los cultivos energéticos que estarían en sus inmediaciones, por lo que en lugar de un problema representaría un beneficio para el agricultor, a la vez que el suelo recuperaría una gran parte de los elementos minerales exportados por la cosecha. Por otra parte, el bajo contenido en azufre de la biomasa hace que su combustión produzca muchos menos óxidos de azufre.
- C) *Consumo excesivo de plaguicidas y fertilizantes*. Es cierto que para producir una abundante cantidad de biomasa se necesita una fertilización adecuada, pero ésta puede ser proporcionada en gran parte por las cenizas de la combustión y el resto por fertilizantes orgánicos de bajo valor (purines, lodos de depuradora, compost etc...). En cuanto al empleo excesivo de plaguicidas, hay que tener en cuenta que las especies vegetales que se seleccionen para esta finalidad deben ser bastante rústicas para que requieran pocos inputs de esta naturaleza, y por otra parte, dado lo caro que resulta el empleo excesivo de estos productos el propio agricultor será el principal interesado en no efectuar un gasto superfluo de estos elementos de la producción.
- D) *Balance energético de la producción de biomasa*. El gasto de energía convencional que se efectúa en las labores agrícolas es muy inferior a la energía contenida en la biomasa que se produce. Realizando un pequeño cálculo en base a que unos 3 kilos de biomasa seca, tiene las mismas calorías que 1 kilo de petróleo, producciones de biomasa del orden de las 15 t/ha de materia seca suponen una producción energética equivalente a unas 5 t de petróleo, lo que puede suponer más de 10 veces el consumo de energía convencional considerando incluso los costes energéticos de todo el ciclo de producción de la maquinaria, fertilizantes y pesticidas.

El modelo de agroindustria energética es totalmente opuesto al modelo convencional de plantas de producción de energía representado por plantas de mucha potencia (varios cientos de megavatios) y distribución de aquella a miles de kilómetros a través de líneas de alto voltaje. El modelo agroenergético representa un sistema disperso de producción de energía por unidades de pequeña potencia (del orden de los 10 MW) localizadas en comarcas agrícolas y perfectamente integrada con las actividades del medio rural. Es un modelo más ecológico, basado en la sostenibilidad proporcionada por la energía solar a través del proceso fotosintético y con un impacto ambiental mucho menor que las fuentes tradicionales de producción de energía. Además de mejoras ambientales, tiene ventajas sociales derivadas de la generación de empleo y de la dinamización del sector agrario.



D. Jesús Fernández González

Este modelo puede ser sumamente atrayente para los países en vías de desarrollo, posibilitando que adquieran un nivel de consumo energético per cápita análogo al del habitante de los países desarrollados, pero basado en una producción autóctona, sostenible y con tecnologías apropiadas a sus conocimientos y cultura. Es necesario evitar a toda costa que estos países basen su desarrollo en el modelo energético que implique un consumo masivo de combustibles fósiles, ya que, a parte de acelerar su agotamiento, favorecería su encarecimiento y por tanto les imposibilitará cada vez más su adquisición.

Volviendo al Plan de Fomento de las Energías renovables en España y su apuesta por la Agroenergética, no quiero finalizar mi intervención sin hacer referencia a una duda razonable que puede surgir acerca de la capacidad del agricultor español para responder al reto planteado de dedicar una buena parte de la superficie agrícola tradicional (cerca de un millón de hectáreas) a los nuevos cultivos destinados a producir energía, teniendo en cuenta el carácter conservador del hombre del campo. La respuesta la podemos tomar de la historia reciente de la agricultura española, cuando en la década de los 60 se introdujo el cultivo del girasol. Como consecuencia de una política decidida del Ministerio de Agricultura para potenciar la exportación del aceite de oliva, se fomentó la producción de aceite de girasol, proporcionando al agricultor apoyo técnico, económico y garantía de precio. De esta manera, de unas diez mil hectáreas de cultivo de girasol (para producción de pipas como frutos secos) que había a mediados de los años sesenta, se pasó a cerca de ochocientas mil hectáreas, a mediados de los setenta. Por otra parte, hay que tener en cuenta también que como consecuencia del fomento del abandono de tierras de cultivo que hace la Política Agraria Comunitaria (PAC), en la época de los 90 se dejaron de cultivar en España más de un millón y medio de hectáreas de tierras de secano, existiendo toda la infraestructura agrícola necesaria para volverlas a poner en cultivo para nuevos productos, tan pronto como las condiciones económicas del mercado lo permitan.

Conclusiones

A continuación se recogen las siguientes Conclusiones generales de esta intervención:

- La biomasa es una fuente energética de origen solar que actualmente participa en el balance energético nacional con cerca de 4 Mtep, lo que constituye alrededor del 55% del aporte de las renovables, incluyendo la gran hidráulica.

- El incremento de energía procedente de biomasa para la próxima década está cifrado en el Plan de Fomento de las Energías Renovables en 7,1 Mtep, lo que representa el 74% del incremento propuesto para el conjunto de dichas energías.
- El incremento esperado en la utilización de la biomasa pasa por el inicio de la actividad agroenergética, es decir, por la producción de biomasa mediante cultivos energéticos, utilizando para ello tierras agrícolas retiradas de la producción de alimentos. En conjunto se propone poner en cultivo cerca de un millón de hectáreas de tierras agrícolas retiradas de la producción de alimentos.
- Del conjunto de las aplicaciones de la biomasa previstas en el Plan de Fomento de las Energías Renovables, la agroelectricidad, los biocombustibles para aplicaciones térmicas y el bioetanol serían productos de un origen netamente agrario que en conjunto representarían el 91,7% del incremento propuesto de participación de la biomasa en la próxima década.
- De las tres aplicaciones de la biomasa, citadas anteriormente, la agroelectricidad es la que se espera tenga una mayor contribución en el incremento esperado de la biomasa, con un consumo anual de 5,1 Mtep de biomasa, de los que 3,35 deberían proceder de cultivos energéticos realizados específicamente para esa finalidad y el resto de residuos de cultivos agrícolas herbáceos principalmente.

Pregunta de un asistente: La biomasa, como energía renovable, me resulta una energía un poco complicada; es indudable que tiene beneficios, pero a mí me da pena que de las energías renovables en España, la biomasa sea la más protagonista, yo creo que deberían ser otras. ¿Por qué digo eso? Porque de alguna manera, la biomasa no es una energía renovable pura y dura. Sí se acerca a una energía renovable, pero realmente estamos degradando materia, esos nutrientes que se sacan, porque realmente se sacan de la tierra, y parte de ellos se degradan en energía térmica, de menor valor, y no se devuelven muchos de los residuos forestales. A mí me gustaría más la política de que esos residuos se vuelvan a implantar en el suelo, se vuelvan a reconstituir, y más en un país como el nuestro, donde los suelos son bastantes pobres, donde tenemos un problema de desertización importante. Creo que es un tema importante en el sentido de que no podemos abusar.

Luego hay otra cuestión, y es que aparte del gasto energético, aunque salga el balance bien, hay otros problemas, y es que cuando se extraen nitrógenos, se tiene que fertilizar. Tenemos un problema ya estructural de fósforo en España, hay que añadir ese fósforo; por otra parte, están los problemas de siempre, de cualquier agricultura: de tipo sanitario, de pesticidas, de herbicidas, y el problema del agua, que es esencial en nuestro país. Quiero decir que está muy bien la biomasa como energía renovable, pero quizá en este país, como en otros, tenga problemas.

Respuesta de Jesús Fernández: En primer lugar, he de decirle que si se cultiva la biomasa en un terreno agrario, como el producto que obtengamos va a ser más barato que el alimento, nunca podremos tener inputs mayores que los que se producen en la agricultura tradicional ya que en ese caso dejarían de ser rentables. Por este motivo, el impacto ambiental que produzcan estos cultivos siempre será menor que el que produzcan los cultivos agrícolas tradicionales. Evidentemente siempre habrá algún impacto ambiental mayor que el que se originaría en un ecosistema natural en el que no se realizara ningún tipo de intervención humana en su cultivo, pero esta situación sería más propia de la época en que el hombre era un cazador-recolector. No se trata de quitar ecosistemas naturales existentes, sino de sustituir algunos de los ecosistemas agrarios por otros que produzcan un menor impacto ambiental.

Sobre la extracción de nutrientes minerales por los cultivos energéticos, ya hemos dicho que, a excepción del nitrógeno, los elementos minerales que las plantas extraen del suelo y que quedan en las cenizas se pueden devolver a los campos de cultivo.

Respecto al consumo de agua en principio no se trata de consumir agua de riego sino de aprovechar el agua de lluvia seleccionando especies que crezcan en otoño, invierno y primavera y que

en verano se sequen o disminuyan su consumo hídrico, como por ejemplo hace el cardo, que es una de las plantas que hemos seleccionado para estos fines. En contraposición estaría el maíz, que solo vegeta bien en verano, con temperaturas elevadas y por lo tanto es preciso regarlo con un consumo abundante de agua.

En relación al empobrecimiento del suelo que, según dice, produciría este tipo de cultivos, creo que es un error ya que al contrario de lo que podría pensarse, estos cultivos son una fuente de materia orgánica para el suelo, porque solamente se suele utilizar la parte aérea, quedando más de cuatro toneladas de carbono en el suelo en forma de materia orgánica, con toda la estructura del sistema radicular que mejora la estructura del suelo.

Pregunta de un asistente: ¿Con qué materias se ha probado ya para esta finalidad?

Respuesta de Jesús Fernández: Las materias objeto de la agroenergética, dependerán del uso que se vaya a dar a la biomasa que se produzca. Cuando la biomasa va a utilizarse como combustible para producir calor o electricidad, debe utilizarse una materia de tipo linocelulósico tal como la paja o la leña. No van a servir las materias con mucha humedad, ya que habría que gastar la mayoría de la energía en evaporar el agua.

Pregunta de un asistente: ¿Ya hay actualmente centrales en funcionamiento, produciendo energía con cardos?

Respuesta de Jesús Fernández: Con cardos todavía no por ser un cultivo novedoso, pero ya están en marcha varios proyectos sobre este tema. Ahora se está produciendo energía con biomasa residual, de tipo forestal o agrícola, como es el caso de muchas industrias papeleras, que utilizan residuos forestales, y otras industrias que utilizan el orujo de aceituna como fuente de energía. Esto ya se está haciendo en España y en muchos países de Europa. Una actividad agrícola específica, para producir energía, todavía no está funcionando, aunque ya se han empezado a dar los primeros pasos en este sentido con el cultivo del cardo para producir biomasa para ser utilizada como fuente de energía.

*Jesús Lizcano: Vamos a escuchar a continuación al siguiente ponente del Seminario, que es **D. Enrique García Camarero**. Enrique es Doctor en Ciencias Físicas por la Universidad Autónoma de Madrid. Ha desarrollado tareas de investigación en células solares en lámina delgada. Ha publicado más de cincuenta artículos en revistas internacionales sobre células solares, y ha dirigido proyectos de investigación en este campo. Una asignatura en la que desarrolla la docencia es precisamente Fuentes alternativas de energía, que se desarrolla en el quinto curso de la carrera. Enrique, que es Profesor Titular de Física Aplicada de la UAM, acaba de venir ahora además de la VI Conferencia Europea sobre la Energía Solar Fotovoltaica.*

Enrique García Camarero:

A mí me toca pasar revista a otras energías renovables, como son la conversión directa de la radiación solar en electricidad o en calor, y la conversión de los flujos del viento en energía eléctrica o en energía mecánica.

De todas maneras, quiero antes que nada, decir que, en mi opinión, se han vertido aquí algunos malentendidos en relación con las energías renovables en su conjunto. En primer lugar, cuando aquí nos preguntamos sobre la viabilidad de las nuevas energías, estamos mezclando tecnologías que todavía no ha demostrado que puede prestar servicios energéticos, como puede ser la fusión nuclear, y otras energías que, como la energía fotovoltaica, están ya en nuestras vidas, prestando sus servicios. Si

nosotros podemos ver, por ejemplo, programas de televisión vía satélite, es gracias a que los satélites alimentan sus equipos de transmisiones con energía fotovoltaica. Si podemos ver los pronósticos del tiempo, es porque los satélites meteorológicos están funcionando o se alimentan con energía fotovoltaica. Es decir, se mezclan dos grupos de energías distintos: las energías renovables y energías tales como la fusión nuclear. Al primero pertenecen la energía fotovoltaica, los combustibles biológicos, la energía eólica, o la energía fototérmica, cuya viabilidad no es cuestionable puesto que todas ellas están ahí, prestando ya servicios a la sociedad. En ese sentido ¿son viables? Realmente sí, puesto que ya están siendo aplicadas. En relación con el tema de la viabilidad, la intervención del anterior conferenciante, sobre combustibles biológicos contrasta mucho con la que hemos oído sobre la fusión nuclear. El primero, nos ha hablado de los actuales porcentajes con que la biomasa contribuye a la actual producción energética. De la fusión por el contrario solo se nos habla de un proyecto, o proyectos, de investigación. La viabilidad técnica de las energías renovables es un hecho, no así la de la fusión nuclear. Se cree que será viable técnicamente dentro de cincuenta años; lo mismo se creía hace cincuenta años.

En segundo lugar, creo que la energía nuclear no debe ser considerada una energía renovable. ¿Por qué? Lo que en mi opinión es más característico de las energías renovables, es que estas son flujos de energía, no energías almacenadas en la materia. La fusión nuclear es, conceptualmente, un proceso de producción energética muy similar a, por ejemplo, la combustión del carbón o del petróleo, que convierten en calor energías almacenadas en la materia. Por el contrario, la producción energética basada en las energías renovables consiste en la transformación de flujos energéticos en otras formas de energía tales como energía mecánica, calor o electricidad. Esos flujos se dan en la naturaleza de forma natural, y su explotación no implica un consumo artificial de energías internas almacenadas en la materia. Es cierto que la radiación solar resulta de los procesos de fusión termonuclear que tienen lugar en el núcleo del sol, y que estos son procesos naturales que implican consumo de energía interna, pero convertir la radiación solar en otras formas de energía no supone necesariamente un consumo adicional de energía interna. Un sistema energético mundial basado en las energías renovables tendría de entrada una clara ventaja sobre el sistema energético actual basado en los procesos de combustión: minimizaría el consumo de energías internas naturales, conservando así la capacidad de producir trabajo disponible.

¿Por qué considero importantes estas puntualizaciones? Sencillamente porque creo que pueden servir para clarificar un poco algunos conceptos básicos en relación con el campo de la energía. Estamos en un período de revolución energética pues se sabe que el grueso de las energías primarias que se utilizan en la actualidad están a punto de agotarse (son las energías que empezaron a explotarse intensivamente con la revolución industrial y se prevé que todas ellas se van a agotar durante el siglo XXI, a excepción del carbón), o su explotación es tan nociva para el medio ambiente que se está haciendo un gran esfuerzo internacional, desde las instancias gubernamentales, para reducir considerablemente su explotación. Para hacer frente a esta situación la sociedad va a tener que decantarse por algún nuevo modelo energético, si las grandes compañías energéticas lo permiten, todo hay que decirlo. La toma de decisiones democráticas en torno a los modelos energéticos, está un poco a expensas de lo que decidan los que tienen la capacidad de imponer sus criterios en las instancias políticas desde posiciones de fuerza. Entonces en ese sentido, todo está por ver. Pero lo que es cierto es que inevitablemente tendrá que abrirse paso un nuevo modelo energético porque la situación va a llegar a ser insostenible y conviene ir prefigurando el nuevo modelo antes de que sea tarde. Sería deseable que la opción que se tomase fuese lo más racional posible, y que para ello necesitamos partir de principios y conceptos claros y útiles.

El modelo energético actual es heredero de aquel gran invento de la prehistoria, que consistía en quemar materiales orgánicos para producir temperaturas más elevadas que la temperatura ambiente y luz. Estas dos cosas eran obtenidas convirtiendo en calor y luz la energía interna almacenada en dichos combustibles. En el siglo XVIII se aprendió a transformar el calor en energía mecánica de rotación (máquina de vapor) y, en el diecinueve a transformar ésta última en energía eléctrica,

acoplado un generador eléctrico a una máquina térmica. La producción nuclear de energía eléctrica sigue este mismo patrón. En todos los casos se trata de convertir en calor la energía química o nuclear almacenada en la materia. Este sería el paso fundamental. Después se puede producir energía mecánica a partir del calor generado, o pasar a producir electricidad indirectamente con generadores acoplados a máquinas térmicas. Prácticamente el 90% de la energía que produce el actual sistema energético mundial está basada en algún tipo de combustión.



D. Enrique García Camarero

Evidentemente el cambio conceptual que conlleva la utilización de las nuevas energías renovables, está en que en este caso se obvia el paso de generación de calor para producir energía mecánica o electricidad. Aparece el concepto de conversión directa de una energía libre (radiación solar, energía eólica o energía hidráulica) en energía mecánica o electricidad, con lo cual se evitan los nocivos efectos medioambientales de las combustiones o el problema de los residuos radioactivos.

Desde el punto de vista económico la diferencia fundamental entre las energías renovables y las que no lo son, es que las últimas tienen un precio derivado de las labores de extracción (minería), refinado y transporte. Cada kilo o tonelada de combustible tiene su precio en el mercado. Evidentemente las energías renovables no requieren trabajos de extracción, refinado o transporte y, por tanto, son gratuitas. (De momento, a nadie se le ha ocurrido cómo cobrar la radiación solar, ni se le ha ocurrido cómo cobrar el viento). Esto es una desventaja para que este tipo de energías se extiendan más rápidamente, porque lo determinante del actual sistema de producción energética es la utilización de energías que no sean libres, para que las compañías establecidas puedan seguir funcionando.

Podría ahora hacer un repaso a algunas de las energías renovables: Una sería la fotovoltaica, otra la energía eólica. Como es bien sabido, cuando se trata con energías renovables, no se piensa tanto en las energías como en las tareas a realizar con la energía. Se hace obvio que lo que en última instancia necesita la sociedad no es energía sino ejecutar ciertas tareas que pueden ser elevar temperaturas, mover o elevar masas, producir movimientos de cargas eléctricas, etc. La preocupación fundamental son las tareas a llevar a cabo, luego se buscan los procedimientos más adecuados. Incluso cuando se diseñan aparatos para llevar a cabo las tareas, no se piensa tanto en energías como en el tipo de interacciones físicas que pueden servir para ejecutar dichas tareas. Por ejemplo, cuando se diseña el motor de un coche, se está viendo el poder de expansión de los gases, las relaciones de compresión, los pares mecánicos que aparecen de por medio, etc. Se le está viendo más en términos de fuerzas que de

energías. Lo mismo ocurre cuando se pretende diseñar conversores de energía tales como los molinos de viento o las células solares fotovoltaicas. En el primer caso se consideran las fuerzas de arrastre o de empuje ascensional del aire, los pares mecánicos a que dan lugar, las velocidades angulares de rotación asociadas, etc. En el segundo se discuten los procesos de interacción de los fotones solares con los portadores de carga en un semiconductor, el transporte de estas cargas por campos eléctricos o por fenómenos de difusión, etc. No entenderíamos en absoluto como funciona un conversor si lo único que dijésemos de él es que es un sistema en el que entran tantos julios de energía y del cual sale cierta fracción de la energía entrante. Esto que es aplicable a cualquier tipo de conversor, resulta aún más obvio en el caso de conversores de energías renovables, ya que en este caso no estamos tan obsesionados por el consumo energético, porque estas energías son gratuitas. La obsesión por la energía es entendible, sin embargo, cuando se utilizan energías primarias costosas, tales como el carbón o el petróleo. En este caso el tratamiento puramente energético de los conversores responde a la justificable preocupación por el consumo de energías primarias no renovables, tales como el petróleo o el carbón. Es un tratamiento muy adecuado a fines de contabilidad, cuando la energía primaria utilizada tiene precio. Lo único que interesa a los contables es entonces la ecuación de balance energético del conversor, que no es sino el primer principio de la termodinámica, y el concepto de rendimiento del mismo, asociado al primer principio, que no es sino el cociente entre la energía útil que sale del conversor y la energía primaria que entra en él. Además este tratamiento tiene la ventaja de que lo entiende todo el mundo, es decir todo el que tenga una cuenta corriente en un banco, y esté acostumbrado a leer los balances que periódicamente le remite su banco.

La conversión fotovoltaica es un tipo de conversión directa. En esencia basta disponer de un absorbente óptico adecuado (un semiconductor) que lleve incorporado un campo eléctrico en su interior para que podamos extraer de él una corriente eléctrica continua a cierto voltaje cuando sobre su superficie libre incide la radiación solar. Este tipo de conversión no emplea ningún ciclo termodinámico; es una conversión directa y silenciosa y no contaminante de la radiación solar en electricidad.

A veces se dice que para hacer las células solares (la unidad básica de la conversión fotovoltaica) hace falta contaminar. Para hacer un coche también hace falta contaminar, para hacer un sillón hace falta contaminar, al fabricar los componentes de una central térmica también se contamina. Es inevitable. Pero nos referimos a que, a diferencia con los procedimientos convencionales de conversión, el propio proceso de conversión no es contaminante. Carece de los efectos negativos de las labores de extracción y transporte de la energía primaria, que si se tiene cuando se utilizan combustibles fósiles (carbón, petróleo) o combustibles nucleares, o cuando se convierte en calor la energía almacenada en estos combustibles, contaminación que se refiere a la unidad de masa de combustible empleado, qué cantidad de dióxido de carbono entra en el aire por ejemplo, no con el proceso de fabricación de los equipos que poseen las instalaciones energéticas convencionales.

La conversión fotovoltaica, en tanto que conversión directa, tiene otras ventajas respecto a la conversión indirecta (producción termodinámica de energía eléctrica o de energía mecánica). En la conversión indirecta de energía, para convertir la energía primaria en energía útil, se necesitan varios pasos de conversión, el rendimiento total de la transformación es el producto de los rendimientos. Dado que los rendimientos de cada paso son inferiores a la unidad, cuantos más pasos haya, menor es el rendimiento total de la conversión, y puede llegar a ser ridículo.

De todas maneras, en relación con la conversión fotovoltaica, como con el resto de procedimientos de conversión de flujos de energía, el asunto del rendimiento no tiene nada que ver con los rendimientos convencionales que se utilizan cuando se explotan energías almacenadas. En el segundo caso, interesa que los rendimientos de conversión sean grandes para minimizar el gasto de la energía primaria necesaria para producir una cantidad dada de energía útil. Fué este pensamiento una de las obsesiones de los patrones de la revolución industrial. Las primeras máquinas de vapor tenían unos rendimientos inferiores al 1%, y por lo tanto se gastaba mucha energía primaria, para obtener una

cantidad de energía útil pequeña, había que utilizar una gran cantidad de leña al principio, luego de carbón, y finalmente de petróleo.

En el caso de la energía fotovoltaica, se persiguen elevados rendimientos por otros motivos. En este caso, apenas tiene importancia la cantidad de energía que se consume, porque es gratis, ¿Por qué, entonces, también interesa que los rendimientos de conversión sean elevados? Interesa porque la conversión fotovoltaica tiene lugar en superficies captadoras que convierten la energía radiante solar en energía eléctrica, y la energía radiante solar que llega a la superficie de la Tierra, tiene un valor definido, aunque variable por m^2 , de forma que si se tiene un rendimiento fotovoltaico bajo, entonces se necesita una superficie de captación de la radiación solar muy elevada para producir un kilowatio eléctrico. Vemos así que cuando se trata con energías renovables aparecen conceptos diferentes a los usados habitualmente en relación con las energías renovables. Por ejemplo no pueden compararse entre sí los rendimientos de conversión de las energías renovables con los de las energías no renovables porque tienen un significado muy diferente en ambos casos. No se puede describir las energías renovables con los mismos conceptos utilizados en las energías no renovables. Son enfoques diferentes. Conviene tener esto claro a la hora de prefigurar el nuevo modelo energético.

¿Cuál es la actual situación de la energía fotovoltaica, qué servicios se están prestando? En 1999 la producción global de paneles fotovoltaicos fué 200 megawattios-pico, un 30% más que en 1998. Este crecimiento se ha venido manteniendo desde hace una década, es decir hay un crecimiento anual del 30% en la producción de los dispositivos que convierte la radiación solar en electricidad. Esto significa que la industria fotovoltaica es una industria en expansión.

En la reciente Conferencia Fotovoltaica Europea celebrada en Glasgow aparte de las sesiones normales del Congreso, había una exhibición de más de cien industriales del sector fotovoltaico. La industria fotovoltaica está en estos momentos perfectamente asentada en la sociedad y es un sector muy dinámico. Por ello, no tiene mucho sentido preguntarse por si la energía fotovoltaica es viable, es claro que es viable. Otra cosa es que se pueda crecer a un ritmo mayor del que crece ahora, eso ya depende de decisiones políticas, económicas, etc. que supongo que habrá que discutir socialmente.

¿Qué aplicaciones tiene actualmente? 1) Aplicaciones espaciales: para dotar energía a los satélites de comunicaciones, a los satélites meteorológicos, viajes espaciales en general. 2) Aplicaciones terrestres para lugares remotos: actualmente hay más de dos mil millones de personas que no tienen acceso a la electricidad, lo que significa que hay setecientos millones más de que hace veinte años. el número de personas que no tienen acceso a la electricidad va creciendo a medida que pasa el tiempo,. Evidentemente combinando esto con que hay economías que no pueden sostener la factura petrolífera o de fuentes convencionales de energía, como decía un anterior conferenciante, se ve que hay un mercado muy amplio para la energía fotovoltaica. 3) Terrestres en lugares próximos a la red: De interés para reducir la emisión de gases asociada a la producción térmica de electricidad. Hay por ejemplo un programa alemán para la instalación de cien mil tejados fotovoltaicos.

En este Congreso también se informó que el Banco Mundial estaba tratando de desarrollar en China, mediante importantes subvenciones, la instalación de sistemas fotovoltaicos. Hay un movimiento a escala internacional por parte de los gobiernos, los bancos, etc. para extender las energías renovables en algunos sitios, especialmente en los países en vías de desarrollo, debido a los problemas económicos que agobian a estos países y a la presión medioambiental que existe.

La conversión fototérmica es similar en fundamento a la conversión fotovoltaica. Se trata de convertir directamente la radiación solar en calor, o bien de utilizar el calor fototérmico en un proceso termodinámico de producción de energía eléctrica. En ambos casos se evita acudir al viejo recurso de la combustión, la nueva tecnología energética lo permite. Se basa en el aprovechamiento de la interacción de los fotones solares con las poblaciones electrónicas de absorbentes ópticos para convertir en calor la energía de los fotones incidentes, y en consecuencia para elevar la temperatura de

dichos absorbentes. Sin sistemas de concentración de la radiación solar se consiguen temperaturas próximas a los 100° C, que sirven para fines domésticos y agrícolas, y con sistemas de concentración pueden conseguirse temperaturas más elevadas, que pueden servir para procesos industriales o para producir energía eléctrica (centrales solares). Ambos tipos de aplicaciones están en funcionamiento en todo el mundo. En el desierto de Mojave de California se han construido centrales solares fototérmicas de cerca de 200 Megawatios pico.

Finalmente la otra fuente energética que quería comentar, la energía eólica, es una energía bastante vieja, en cuanto a que ha sido utilizada hace mucho tiempo, para mover los barcos, para moler trigo, etc.. Podemos hablar de dos tipos de energía renovables, algunas de estas muy antiguas, etc. y luego las energías renovables actuales que se incluye por ejemplo la energía eólica moderna, a las que está asistiendo las tecnologías más desarrolladas. La física en estado sólido y la moderna física de materiales, etc. está contribuyendo al desarrollo de la nueva tecnología de energías renovables, y en particular la energía eólica, que a mi entender tiene muchos visos de poder convertirse, si no hay imperativos externos a la propia racionalidad que lo impida, en la base del sistema energético del futuro. Su viabilidad técnica esta demostrada en la gran cantidad de instalaciones que están prestando actualmente servicios a la sociedad. Su viabilidad económica es a mi juicio algo secundario. Si una solución energética es técnicamente viable, y además es necesaria por diferentes motivos, al final también es viable económicamente. La viabilidad económica depende mucho de las decisiones políticas y puede cambiar al cambiar el escenario social y cultural. Desde mi punto de vista lo esencial en relación con las energías renovables es que está asegurada su viabilidad técnica. Los contables ingleses del siglo dieciocho hubieran tenido razones muy poderosas para dudar de la viabilidad económica de la máquina de Watt, de ínfimo rendimiento, y sin embargo fueron estas maquinas el motor físico de la revolución industrial.

Para terminar, pasaremos a examinar las perspectivas de una rápida implantación de las energías renovables. Dentro del marco jurídico y económico vigente en la mayoría de los países modernos, estas perspectivas están condicionadas por su competitividad económica. Solo podrá alcanzarse un elevado ritmo de implantación si las energías renovables se hacen competitivas frente a las energías convencionales. Es, fundamentalmente, un problema de precios, que puede estar modulado por la conciencia medioambiental que está calando poderosamente en las instancias políticas.

En particular compararemos el coste actual de la generación de energía eléctrica. (Aquí daremos los costes internacionales, es decir los más competitivos; los precios pueden variar sensiblemente en cada país por múltiples razones). En el directorio europeo de energías renovables se ve que en 1992, el precio del kilowatio-hora producido en centrales térmicas de carbón era entre 5 7 centavos de dólar. Vemos que en ese mismo intervalo se encuentra el precio del kilowatio-hora de muchas de las energías renovables. La electricidad eólica ya está en algunos casos a precios menores.. No es extraño por tanto que las grandes compañías eléctricas ya estén haciendo grandes instalaciones de parques eólicos. Con los combustibles biológicos también se alcanzan unos precios muy competitivos y por lo tanto están muy bien situados. El precio del kilowatio-hora en las centrales térmicas solares es ligeramente superior y solo la electricidad fotovoltaica es sensiblemente más cara en lugares próximos al tendido eléctrico (entre 15 y 30 centavos kilowatio-hora). Por eso son mayores las primas que conceden los gobiernos modernos a la producción de energía fotovoltaica: hasta 60 ptas. por kilowatio-hora en España frente a las cinco pesetas por kilowatio-hora que se concede al kilowatio eólico.

Hace diez años, el kilowatio fotovoltaico costaba alrededor de diez veces más que en la actualidad, y sigue bajando de un año para otro. Esta es una tendencia prometedora. Se esta manteniendo el desarrollo de la tecnología fotovoltaica. Los logros que se alcanzan de forma continua en los numerosos centros de investigación, públicos y privados, dedicados al desarrollo de esta tecnología, están permitiendo esta bajada en el precio de la energía fotovoltaica. Sin embargo, de

momento los parques eólicos, los combustibles biológicos o las centrales térmicas solares tienen mejores perspectivas de expansión.

¿Qué nos dice esto? Que el precio de la electricidad producida a partir de las energías renovables ya es competitivo económicamente en la mayoría de los casos y que por tanto si no se extiende más deprisa es por otras razones diferentes, que habría que investigar.

*Jesús Lizcano: El siguiente ponente que va a hacer uso de la palabra en el Seminario es **D. Jesús Rodríguez Pomeda**. Jesús es Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales. Es profesor de Organización y Empresas, aquí en la Universidad Autónoma. Es coordinador además del Programa de Doctorado en Economía y Dirección Estratégica de la Energía y ha sido además también consultor de diversos organismos nacionales e internacionales, entre ellos, de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE).*

Jesús Rodríguez Pomeda:

Voy a intentar presentar, y dar algunas notas características, la lógica económica empresarial de la viabilidad de las nuevas tecnologías. Los ponentes anteriores han hablado con mucho acierto sobre cuestiones técnicas, sobre cuestiones prácticas, y mi intención aquí ahora, es ofrecer un marco de análisis que nos permita a todos entender cómo y por qué se van a desarrollar estas tecnologías.

Una vez visto ese marco de análisis tecnológico económico y empresarial, hablaré también muy brevemente, del concepto de crecimiento sostenible. Creo que la idea de viabilidad está vinculada con una determinada percepción social, con una serie de selecciones sociales y esa idea, ese concepto de crecimiento sostenible, está en el centro del debate político, y en las agendas de los gobiernos, desde hace aproximadamente dos décadas. Por último para entender mejor esa lógica de los gobiernos, esa lógica de la política real, voy a hacer referencia a las orientaciones, a las ideas de la Agencia Internacional de la Energía, que es un organismo vinculado a la OCDE y es un foro en el cual determinados gobiernos de todo el mundo ponen común sus opiniones al respecto.

En este sentido, como decía, vamos a comenzar hablando un poco de lo que puede ser la viabilidad de esas nuevas energías desde el marco de análisis económico-empresarial. En ese marco de análisis tenemos que empezar hablando de las relaciones que hay entre tecnología, economía y dirección de empresas. Cuestiones tales como, por ejemplo, que si la sociedad debe dar más o menos dinero para investigación, que si los consumidores deben pagar más o menos por kilovatio-hora. Estamos refiriéndonos a distintos modelos de análisis, es decir, de un lado tenemos la racionalidad económica empresarial, que es una racionalidad muy clara, orientada sobre la lógica de beneficio y como hemos visto antes, un beneficio además a muy corto plazo. Lo cual, tiene, en mi opinión, graves implicaciones, con respecto por ejemplo a la investigación en desarrollo tecnológico. La lógica sobre la cual está construido el modelo económico capitalista, su esencia como ya nos enseñara entre otros Joseph Alois Schumpeter, es ese carácter dinámico, es decir, vivimos en una sociedad sometida a un cambio constante y uno de los motores fundamentales de ese cambio, es precisamente la tecnología, el cambio tecnológico. Desde ese punto de vista, veremos posteriormente cómo se puede analizar la relación que hay entre tecnología, economía y empresa en general con la sociedad y cuáles son las características básicas que tiene ese cambio tecnológico, de qué manera podemos anticipar qué va a ocurrir en concreto con las nuevas energías que hoy nos han congregado aquí. Finalmente como decía, hablaré brevemente de algunas de las opiniones que tiene la Agencia Internacional de la Energía al respecto.

Una vez visto ese carácter dinámico del capitalismo, esa esencia cambiante que tiene este sistema económico en el cual vivimos, una de las formas de intentar entender cómo evoluciona ese marco es el concepto de paradigma tecnoeconómico, que se debe a una economista llamada Carlota Pérez. Lo que la idea del paradigma tecnoeconómico nos quiere transmitir, es que tecnología no está aislada de la sociedad y de la economía, lo que es bastante evidente para todos. Pero quizá algo más relevante en este sentido, es que la tecnología es dependiente de la historia anterior, es decir, que es muy difícil arrancar caminos nuevos. Y el ejemplo más claro lo hemos oído ya. Emilio Menéndez ha hablado sobre la importancia que tiene el sector del automóvil en nuestras economías. Decía él que el 12% del empleo de la economía española depende del automóvil. Evidentemente es muy difícil desarrollar modelos de transporte alternativos al automóvil. Son cuestiones casi diría yo seculares y en ese sentido, el concepto de paradigma económico tecnoeconómico como decía, nos ayuda a comprender esa lógica. Esa dinámica, esa transformación, tiene mucho que ver con la historia, con la historia de las empresas y con la historia de las sociedades.



D. Jesús Rodríguez Pomeda

¿Cómo evoluciona esa historia, o cuál es el elemento crucial en esa evolución? Hablaba antes de empresas y en la lógica de la empresa, la evolución viene dictada por la productividad y la relación de los costes. La empresa como agente en nuestro sistema económico, que realiza esa transformación del valor mediante la tecnología, está siempre guiada por la lógica de la reducción de los costes o, si quieren, por la ampliación del beneficio, es decir, la historia de la humanidad es la historia del crecimiento de la productividad. En ese sentido, el crecimiento de la productividad va a estar vinculada a lo que sabemos, a lo que hemos hecho antes. Lo que hemos hecho antes, lo podemos estudiar desde la perspectiva del cambio tecnológico.

¿Qué características, que rasgos fundamentales tiene ese cambio tecnológico, cómo avanza la humanidad en este camino por incrementar la productividad? Avanza a partir de una serie de circunstancias, circunstancias dinámicas pero que están en el cálculo de los costes que realizan las empresas. Así, por ejemplo, Giovanni Dosi nos enseña que el punto de partida es el carácter apropiable de esas ideas. La empresa raramente va a invertir en algo que no le vaya a rendir un beneficio, derivado de la explotación de un derecho exclusivo sobre ese rendimiento. Eso nos llevaría a hablar de derecho y nos llevaría a hablar de todo el entramado jurídico que gira en torno a la propiedad intelectual e industrial.

Por otro lado, y esto es muy relevante, el cambio tecnológico tiene un carácter parcialmente tácito, es decir, no estamos hablando siempre y exclusivamente en términos de conocimiento codificado, de conocimiento explícito, de conocimiento fácilmente transmisible. Muchas veces esa renovación tecnológica va a estar en manos, en las cabezas de personas que no han traducido ese conocimiento todavía de una manera codificable. Eso hace que el ritmo de avance tecnológico sea un ritmo digamos irregular, que va avanzando en el tiempo de una manera heterogénea. Por otro lado, es un conocimiento específico, vinculado con situaciones económicas y sociales concretas. Además, existen diversas bases de conocimiento y diversas formas de buscar ese nuevo conocimiento. Cada sociedad, cada momento histórico, va a darle una respuesta diferente a esa búsqueda del conocimiento tecnológico, que finalmente tiene un carácter acumulable.

Una vez caracterizado así ese cambio tecnológico, podríamos simplemente trazar unas breves pinceladas sobre qué es tecnología y de qué manera la tecnología transforma nuestra vida. Podemos pensar que la tecnología es una aplicación sistemática de conocimiento organizado, de conocimiento codificado, esa aplicación sistemática nos va a permitir hacer determinadas cosas. Nos va a permitir crear valor, en el fondo es de lo que estamos hablando, de cómo nuestras sociedades generan valor y lo miden y lo hacen de una manera reproducible, tal y como señala Castells. Este autor llega incluso a decir, que tecnología es sociedad, hay una relación muy íntima entre el conocimiento tecnológico, el cambio tecnológico y el desarrollo social. En ese sentido podemos citar como ejemplo el carácter que tiene la tecnología energética en concreto, como tecnología de “propósito general”. Es decir, como tecnología transformadora de la sociedad, baste con recordar lo que ocurrió en la revolución industrial con el desarrollo de la electricidad. Es un avance técnico que modifica sustancialmente los modos que tenía la humanidad hasta entonces de producir y de consumir. Estas son unas breves pinceladas de cómo ese cambio tecnológico está vinculado con la sociedad, cómo es indisociable de la misma, cómo tenemos que analizar en paralelo ambas realidades.

Yendo más específicamente a la cuestión de la viabilidad de las nuevas tecnologías, nos podríamos plantear desde una óptica económica las ideas de sostenibilidad y desarrollo, dentro de lo que se ha venido en llamar economía ecológica. Aquí vamos a partir de una divergencia fundamental entre economía y ecología. Convencionalmente se dice que la economía es la ciencia -esa ciencia lúgubre que practicamos- que consiste en asignar unos recursos escasos a fines alternativos. Tenemos que resolver ese problema esencial desde la economía. Desde el punto de vista de la ecología, el objeto de estudio ha venido ligado al análisis de los flujos de materiales y de energía en los ecosistemas. Desde hace por lo menos un siglo, seguramente algo más, diversos autores han intentado establecer puentes entre estos dos campos de conocimiento, y así se ha venido hablando de esa economía ecológica. ¿Cuál es el objeto de esa economía ecológica?. Fundamentalmente, estudiar los balances energéticos, y así, simplemente a título de cita, recogemos a un autor como es Podolinski, quien ya estuvo estudiando la relación que había entre “inputs” y “outputs” energético en la agricultura. A partir de ese estudio, derivó una serie de reglas para comprender la viabilidad de esa actividad productiva. Pero yendo más cerca de nuestros días (aunque el Informe Meadows ya tenga tres décadas), vemos cómo en el último cuarto del siglo XX, se comienza a hablar de las relaciones que existen entre crecimiento, eliminación de la pobreza, tecnología y medioambiente. Es decir, es el momento en el cual se llega a propugnar -por determinados autores-, un crecimiento cero, un crecimiento en el cual se mantengan los ritmos de producción, porque se están poniendo de relieve las importantes implicaciones medioambientales de toda nuestra actividad de producción y consumo.

Aproximadamente quince años más tarde, se publica el Informe Brundtland, donde se habla ya de ese desarrollo sostenible y donde se están poniendo en conexión los objetivos que previamente he citado. ¿Dónde está la clave de ese crecimiento sostenible?. En mantener la capacidad futura de producción y de consumo. Esa capacidad futura de producción y consumo, tiene que ver con el capital ambiental, con el capital natural por decirlo así, y con el capital que genera la humanidad. De la relación entre esos dos tipos de capital, de la transformación de uno en otro, va a depender en buena medida el desarrollo, la capacidad de producción y consumo en el futuro.

Una vez vistos muy rápida y sucintamente esas lógicas económicas empresariales y esa la relación entre economía y ecología, voy a pasar a referirme con brevedad a cómo desde un cuerpo político internacional, la Agencia Internacional de la Energía (AIE) (que es un foro de cooperación intergubernamental), se están planteando los problemas de sostenibilidad y de garantía del suministro de la energía. La AIE comienza, como siempre se suele hacer en todo el sistema de la OCDE, por poner de relieve la importancia de la coordinación política internacional. Estamos hablando de problemas globales, de problemas que no tienen una solución sencilla, ni una solución aislada gobierno a gobierno o país a país. Esto no por obvio deja de ser importante, hay que recalcar esa capacidad, esa necesidad de cooperación internacional. Lo es precisamente para solventar los problemas medioambientales, algunos de los cuales ya han sido citados aquí, y esa seguridad del suministro en la cual va a basarse en buena medida el confort y la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras.

En cuanto a las tecnologías energéticas, básicamente su desarrollo va a estar vinculado con una serie de variables. En primer lugar, con la seguridad del suministro, aspecto al cual Emilio Menéndez se refería antes. Sabemos que los combustibles fósiles tienen una vida limitada, sabemos que otros desarrollos de tecnología energética, todavía tienen un camino que desarrollar, y sin embargo tenemos nuestras necesidades de producción y consumo en la actualidad. Por tanto la primera variable que hay que considerar, es la garantía, es la seguridad del suministro. En segundo lugar, el condicionante medioambiental, en el cual también se ha hablado, y del cual Rosa Sáez seguidamente hablará también.

Por último y no menos importante, lo que yo llamaría condicionantes de corte empresarial. Ese condicionante que tiene que ver con la competitividad de las organizaciones empresariales y con la financiación que en el fondo es la que va a permitir ese desarrollo. En suma, estamos hablando de una serie de valores sociales, de una serie de prioridades establecidas desde la óptica social. Todo ello nos lleva a una situación en la cual la complejidad es creciente, la complejidad de estas tecnologías y de su relación con la sociedad, siendo además crecientes las vinculaciones entre las organizaciones que están desarrollando estas nuevas tecnologías.

¿Cuáles son los avances técnicos en el terreno energético que está propugnando de algún modo la Agencia Internacional de la Energía? Muy brevemente, son los siguientes: En primer lugar, una serie de avances tecnológicos que tienen que ver con la mejora de la eficiencia de lo que ya tenemos, colocando en lugar preeminente el uso limpio del carbón (toda una serie de tecnologías que nos permiten minimizar el impacto que sobre la naturaleza tiene la aplicación presente de ese carbón). Se habla también, por ejemplo, de mejoras en generación, en la producción de petróleo y su transporte, se habla de mejoras en los usos residenciales, comerciales e industriales de la electricidad, de reducir las pérdidas que se producen en las redes de distribución de electricidad que utilizamos en la actualidad. En suma, se habla de un conjunto de actividades, de un conjunto de tecnologías, que nos tienen que permitir que ese objetivo final de la seguridad.

Por tanto yo concluiría mi intervención, diciendo que en buena medida, la viabilidad de estas nuevas tecnologías hay que cifrarla en términos de seguridad del suministro futuro. Esa seguridad del suministro futuro, insisto, tiene solamente una respuesta a nivel social, somos todos quienes debemos optar por unos avances o por otros. Lo estamos haciendo de acuerdo con la historia y de acuerdo con las instituciones que en la actualidad tenemos vigentes.

Comentario de Emilio Menéndez: Me voy a permitir hacer algunos comentarios sobre los costes de algunas de las fuentes energéticas que aquí se han comentado. Hablando de electricidad, en el caso concreto español, la generación eléctrica con carbón, supone una inversión específica de casi 200.000 pesetas por kilovatio instalado, y un coste de generación, según sea carbón de importación o propio, entre 5 y 8 pesetas por kilovatio-hora. El gas natural baja sensiblemente la inversión, a 60.000

por kilovatio instalado y, ésto ha cambiado el esquema, ese salto tecnológico que Jesús ahora decía, disponer del ciclo combinado, baja la inversión específica cambia el sistema y facilita la liberalización económica. Todos nos volcamos al gas y tenemos un coste similar al del carbón de importación, mientras no suba el precio del gas natural. La energía nuclear que surgió fundamentalmente por un problema de seguridad de suministro, tiene una inversión específica muy fuerte del orden de 600.000 pesetas por kilovatio instalado. Eso marco un hecho, y es una barrera, que sólo puede hacer energía nuclear una empresa grande o un país fuerte. Mientras que con gas, una empresa pequeña puede producir electricidad. Aquí hay un esquema muy distinto y los costes de generación son variables, dado el período de construcción de una central nuclear es muy largo, del orden de 8 a 10 años, implican que la devolución del préstamo, durante los 15 o 20 primeros años después de la construcción de la planta, sea un factor de gran peso, lo que hace que el coste de generación al menos en un sistema regulado, fuera de unas 15 pesetas por kilovatio-hora, en los primeros años de conexión a la red y bajara cuando la planta esté amortizada a unas 3 pesetas por kilovatio-hora. Por eso es difícil decir, la energía nuclear es barata o es cara, depende en qué momento de la planta y cómo se hagan las cuentas.

La energía eólica ha bajado bastante la inversión, en este momento tiene un valor específico de 140.000 pesetas por kilovatio y un coste de generación dependiendo del viento. Usted preguntaba, las disponibilidades del viento y los sitios; en España estamos generando entre 7 y 8 pesetas kilovatio-hora en los parques que hay en buenos emplazamientos. Si por ejemplo hiciéramos un desarrollo eólico en la Patagonia de Argentina y una red que llegara a los grandes consumidores, el coste de generación estaría por 5 pesetas el kilovatio-hora, o algo menos. La energía eólica ha ido disminuyendo el coste de generación. Cuando me toco a mí empezar un tema de eólico hace 15 años, el coste era de 50 pesetas el kilovatio-hora y hoy está en este nivel, ya no va a bajar mucho más, ahí está llegando a una zona de madurez, salvo que haya alguna revolución en cuanto al diseño de generación.

Por ver lo que es, la eólica ya en este momento representa el 2% de la energía eléctrica que consumimos en nuestro país y puede llegar a representar del orden del 10%. Puede ser una parte significativa, igual que lo es la hidráulica. La hidráulica no la he puesto aquí, tiene un coste de generación, dependiendo del momento, pero alrededor de 4 a 5 pesetas por kilovatio-hora, es decir está también en este esquema. Evidentemente si está amortizada la instalación y ya lleva muchos años, el coste ha bajado muchísimo.

La biomasa tiene una inversión relativamente moderada, pero no tan baja como pensamos, y tiene un coste muy variable dependiendo de donde y como se obtenga la materia prima. Si la materia prima hay que recogerla como masa residual, dependiendo del tipo de terreno o de las facilidades de recogida, se van a tener diferencias acusadas en el coste de combustible. Yo estoy participando en una planta de biomasa, que tiene un coste de generación alrededor de 14 pesetas kilovatio-hora. Si vamos a cultivos, donde el profesor ha estado trabajando tanto tiempo, pues podemos bajar a costes inferiores. Yo he puesto 10, entendiendo que este 10 es muy amplio, es un número muy variable, dependiendo de donde estemos.

La gran cuestión en las renovables es, cómo desarrollamos la energía solar. Se ha hecho poca inversión en investigación solar y en este momento todavía estamos en costes elevados de generación eléctrica. Si hacemos una transformación térmica de la energía solar, el coste de generación está alrededor de 25 ó 30 pesetas kilovatios-hora y si hacemos una transformación fotovoltaica, estamos hoy alrededor de 80 a 100 pesetas. En este momento se está incidiendo para que se haga una inversión fuerte en investigación. En la Politécnica de Madrid, el Profesor Luque está desarrollando tecnología de concentración que pueden quitar un tercio de este coste. Pero se está trabajando en nuevos materiales, se están trabajando en una serie de cosas y entonces es posible que la fotovoltaica, el límite que me parece que puede tener está alrededor de las 30 pesetas el kilovatio-hora.

En el actual sistema, en el que además políticamente se dice que lo bueno es bajar el precio de la electricidad, etc., no entraría todavía la energía solar. En otros sistemas, donde quisiéramos ahorrar energía y por lo tanto darle otros valores económicos, la fotovoltaica futura podría entrar. La solar térmica tiene a través de los concentradores tipo disco, también la posibilidad de reducir coste hasta 25 ó 30 a quizá no más debajo de 15 ptas. por kilovatio-hora. Es decir, los dos grandes recursos eléctricos, que son la solar, tanto térmica como fotovoltaica, para su penetración necesita, por un lado una inversión fuerte en investigación y por otro lado, asumir que estos costes que figuran aquí, carbón, gas, etc. son costes que no contemplan la incidencia ambiental y no contemplan la reposición del recurso. Porque el carbón o el petróleo no se producen, se extraen de un saco más o menos grande, pero se extraen, una vez que esté vacío, vacío está.

Cuadro nº 1 ESQUEMA ENERGÉTICO GLOBAL

- Población: 6.000 millones de personas consumo Energético global: 10.000 millones de tep.
- El 20% de la población, del Primer Mundo, consume el 80% de la energía total.
- Fuentes de Energía Primaria:
 - Petróleo 40%.- Reservas para 40 a 70 años de consumo. Fácil manejo. 1 kg de CO₂/kWh.
 - Carbón 20%.- Reservas para más de 500 años. Inversión elevada. 1kg de CO₂/kWh.
 - Gas Natural 20%.- Reservas para 70 a 100 años. Fuertes infraestructuras. 1/2 kg CO₂/kWh.
 - Energía Nuclear 5%.- Elevada inversión específica y rechazo social. Países fuertes.
 - Hidráulica y otras renovables 15%.- Recurso energético disperso, inversión elevada.
- Dos tercios de la energía primaria se transforman en Combustibles de Uso Directo:
 - La mitad de ellos se destinan a transporte y automoción. Derivados del petróleo.
 - Un tercio de la energía primaria se transforma en electricidad. 14.000 TWh/a:
 - 1.000 millones de personas consumimos 8.000 TWh/a. en el Primer Mundo.
 - 3.000 millones de personas consumen 6.000 TWh/a. en los Países en vías de desarrollo.
 - 2.000 millones de personas sin electricidad en los Areas rurales en muchos países.
- La electricidad proviene de: carbón, hidráulica, petróleo, nuclear, gas natural y renovables.

Cuadro nº 2 ESQUEMA COMPARATIVO DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD CON ENERGÍAS CONVENCIONALES Y RENOVABLES. ENTORNO ESPAÑOL.

<i>Fuentes de energía</i>	<i>Inversión Específica</i>	<i>Combustible</i>	<i>Coste de Generación</i>
CARBÓN	200.000 ptas/kW	2 a 5 ptas/kWh	5 a 8 ptas/kWh
NUCLEAR	600.000 ptas/kW	1 a 2 ptas/kWh	15 a 3 ptas/kWh*
GAS NATURAL	60.000 ptas/kW	4 a 6 ptas/kWh	5 a 7 ptas/kWh
D. PETRÓLEO	50.000 ptas/kW**	3 a 10 ptas/kWh	5 a 12 ptas/kWh
HIDRÁULICA	300.000 ptas/Kw***	----	2 a 4 ptas/kWh****
MiniHIDRÁULICA	300.000 ptas/kW	----	6 a 9 ptas/kWh
EÓLICA	140.000 ptas/kW	----	6 a 8 ptas/kWh
BIOMASA	200.000 ptas/kW	2 a 10 ptas/kWh	6 a 14 ptas/kWh
SOLAR TÉRMICA	400.000 ptas/kW	----	30 ptas/kWh
FOTOVOLTAICA	1.000.000 ptas/kW	----	80 a 100 ptas/kWh

* Depende de su situación de amortización. Los primeros años de operación el coste de generación está gravado por la devolución de los préstamos de la construcción.

** Se refiere a motores diesel, válidos para redes eléctricas pequeñas

*** Valor meramente orientativo. La mayoría de las instalaciones existentes se construyeron hace años. Una parte de la inversión no se aplicó a conceptos de generación de electricidad.

**** Se considera que la inversión está en su mayor parte amortizada. La hidraulicidad española tiene un índice de horas disponible bajo. Como valor de referencia considerar para una nueva instalación en un río caudaloso con alto número de horas disponibles: 5 ptas/kWh.

*Jesús Lizcano: Vamos a pasar a continuación a la última de las intervenciones en el Seminario, que es la que va a desarrollar **Dña. Rosa Sáez Angulo**. Rosa es Doctora en Farmacia, y es actualmente la Responsable del Proyecto Estudios Socioeconómicos de la Energía y el Medio Ambiente del Instituto de Estudios de la Energía del CIEMAT. Ha sido Investigadora en la Universidad de Georgetown de EE.UU. en el área de Biotecnología, y también en el Departamento de Energía de EE.UU., en el área de Energías Renovables. Ha sido, además, Jefe de División de Biomasa en el IER del CIEMAT, e investigadora en el grupo de Biofísica de la Junta de Energía Nuclear. Ha dirigido múltiples proyectos de investigación, contando, además con numerosas publicaciones, conferencias y participaciones en Congresos relacionados con temas relativos a energía y medioambiente.*

Rosa Sáez Angulo:

Mi intención en esta intervención es introducir en el debate el tema de los costes externos o *externalidades* producidas en la generación de energía y presentar algunos resultados que han sido obtenidos en el CIEMAT durante estos últimos años estudiando diversos ciclos de combustible. De todos es conocido, y lo hemos escuchado en las anteriores presentaciones, los beneficios sociales y medioambientales que la utilización de las energías renovables aporta al conjunto de la Sociedad. Dado su nula o muy baja emisión de CO₂ a la atmósfera, reducen el efecto invernadero actuando en ocasiones, como es el caso de los cultivos energéticos, como verdaderos sumideros de CO₂. Igualmente reducen las emisiones de otros contaminantes atmosféricos como es el caso de SO₂, evitando la lluvia ácida, la erosión, la inundación de grandes extensiones para la construcción de presas hidráulicas (la gran hidráulica es energía renovable pero está fuera del ámbito de lo que estamos denominando nuevas energías) y contribuyen a la diversificación energética y a la seguridad en el suministro energético por ser energías autóctonas. Además contribuyen al desarrollo industrial de la región donde se implementan y al incremento de la renta agraria, en el caso de la biomasa, favoreciendo en general el desarrollo económico de las zonas rurales. Por otra parte el empleo originado por la utilización de las fuentes de energías renovables tiene un gran impacto porque generalmente se localizan en áreas geográficas con escasez de oportunidades laborales por lo que el empleo neto originado suele ser alto. El empleo generado en la producción de biomasa, por ejemplo, es cinco veces mayor que el de la producción de combustibles fósiles. En el caso de la eólica, se crean seis puestos de trabajo por cada MW instalado.

Pero a pesar de estos y otros beneficios de las energías renovables, así como de los avances tecnológicos experimentados en los últimos años, el nivel de implantación de este tipo de energías no ha sido el esperado. La principal razón está en su coste todavía mayor, en muchos casos, al de las energías convencionales. Sin embargo esto es así porque el precio de la energía no refleja su verdadero coste ya que solamente se consideran los costes privados originados en su generación, es decir, los costes de inversión, los del combustible y los de operación y mantenimiento.

Pero además existen también otros costes externos o *externalidades* que son originados en la producción de energía pero que el productor no asume. Estos costes recaen de forma indiscriminada sobre la Sociedad que paga por ellos. Las *externalidades* pueden ser negativas, como es el caso de los efectos sobre la salud de los contaminantes atmosféricos producidos en la generación eléctrica, o positivas como es la creación de empleo o el incremento del desarrollo económico de una región que provoca un aumento del bienestar social. Tanto unas como otras incluyen efectos medioambientales y socioeconómicos que deben ser valorados.

El coste total o real de la energía debería llevar asociados tanto los costes privados como los costes externos. Puesto que los costes privados están expresados en términos monetarios, la cuantificación de las *externalidades* en términos económicos es la forma mas objetiva de dar un valor

real a la producción de energía. La incorporación de las externalidades al precio de la energía es lo que se denomina internalización de las externalidades.



Dña. Rosa Sáez Angulo

Sin embargo la cuantificación de los costes externos es una tarea difícil sobre todo en el caso de que se pretenda valorar económicamente bienes y servicios sin precio en el mercado e introducir estos valores dentro de la estrategia de precios. Con este problema nos encontramos cuando queremos valorar los efectos sobre la salud, sobre parques de valor ecológico, sobre edificios históricos etc. Existen varias metodologías para la cuantificación de los costes externos.

Las denominadas "top-down" (de arriba abajo) con las que se calculan los costes externos de forma global, las que utilizan el coste de control para su determinación y sobre todo la denominada Externe o "Función de daño" a la que me voy a referir en esta presentación. Es, desde hace unos seis años, la metodología más aceptada por la comunidad científica y ha sido desarrollada por equipos de EE UU (Oak Ridge Laboratories) y numerosos equipos de investigadores europeos. Se ha aplicado en 15 países europeos y en prácticamente todos los ciclos de combustible incluidos la mayoría de las energías renovables e incluso fusión. Para la evaluación de éste último se ha supuesto la construcción, hoy, de una planta para producción de electricidad considerando el actual estado del conocimiento. La planta se ha situado hipotéticamente en Lofen (Alemania). El CIEMAT ha coordinado el proyecto de implementación de esta metodología en Europa cuyos resultados se comentarán más adelante.

Se trata de una metodología que valora las externalidades de una manera *marginal*, incremental, en el sentido de que valora estas externalidades por kilovatio-hora de una central adicional. Es *específica* para un determinado emplazamiento y con una determinada tecnología. Es *transparente* en el sentido de que todos los supuestos y métodos de estimación utilizados están claramente especificados. Es *global* porque la evaluación incluye todo el ciclo, desde la producción del combustible hasta el desmantelamiento de la planta ("de la cuna a la tumba"). Es finalmente *coherente* porque la evaluación de los impactos se realiza de la misma forma independientemente de la actividad del ciclo que los genere.

Las etapas básicas de esta metodología son: Caracterización del emplazamiento y la tecnología; identificación de las consecuencias (cargas, emisiones) e impactos; priorización de los impactos; cuantificación de los impactos y valoración económica. La cuantificación de los impactos se realiza a través de lo que se denomina ruta de impacto que son una serie de etapas lógicas que permiten ir desde

la actividad que originó el impacto hasta la evaluación del daño que produce. Los impactos se cuantifican en muchos casos con funciones dosis respuestas con las que se relaciona la concentración de un determinado contaminante y el impacto producido. La valoración económica se basa en la disponibilidad a pagar para evitar un daño. En el caso de que los bienes afectados existan en el mercado, se utiliza su precio y si no lo tienen se utilizan otros métodos alternativos como el valor contingente u otros cuya transferibilidad es limitada.

La metodología descrita contiene numerosas fuentes de incertidumbre que debe ser evaluada mediante análisis de sensibilidad o juicios de experto. No obstante nos ha permitido la evaluación de las externalidades de varios ciclos de combustible de plantas concretas en España así como la realización de un estudio de agregación de los valores de las externalidades del sistema eléctrico español en el que están incluidas todas las centrales que producen electricidad. A pesar de las incertidumbres que conlleva este ejercicio, los resultados que les presento son los primeros realizados en España y los valores obtenidos son significativos aunque hay que utilizarlos con cautela. Estos valores son subtotales porque solamente se han evaluado los efectos sobre la salud, ya que, si exceptuamos el efecto sobre el cambio climático, los efectos sobre la salud suponen el 99% del total de los impactos valorados en los ciclos mencionados.

La transparencia representa los costes externos (efectos sobre la salud), expresados en pesetas por kilowatio-hora, de las energías convencionales y de las energías renovables. Los valores obtenidos para las primeras corresponden al ejercicio de agregación del sistema eléctrico español que mencionábamos antes. En el caso de las renovables se muestran datos obtenidos en Dinamarca. Los resultados ponen de manifiesto la gran diferencia entre las energías fósiles y el resto de los combustibles. Al lignito le corresponde el valor mas alto, hasta 37 ptas/kWh en el caso peor, le sigue el carbón que alcanza un valor de hasta 15 ptas/kWh (de 4 a 15ptas/kWh es el intervalo estimado) y el gas con un valor de 2,5 ptas/kWh.

Los costes externos para la energía nuclear e hidráulica son inferiores a los anteriores aunque incluyen mayores incertidumbres al haber sido extrapolado los datos de otros países europeos. En el caso de las energías renovables los valores estimados para los daños sobre la salud oscilan desde 0,15 ptas/kWh para la energía eólica, y 1 ptas/kWh para fotovoltaica. Los costes para biomasa, calculados para una planta potencial, localizada en San Lucar la Mayor (Sevilla) y alimentada con cultivos energéticos de *Cynara cardunculus*, alcanzan un valor medio de 0,48 ptas/kWh. También han sido evaluados los costes externos de una hipotética planta de fusión si fuera construida actualmente. El equipo, formado por grupos de cinco países europeos de la Asociación Euratom, incluido el CIEMAT, ha utilizado la metodología Externe para su evaluación obteniendo unos valores similares a los obtenidos para las energías renovables y muy inferiores a las convencionales, especialmente a las energías fósiles. Obviamente el grado de incertidumbre en el caso de la fusión es mucho mayor, sin embargo da una idea del orden de magnitud de sus costes medioambientales.

Por otra parte, se han evaluado los efectos de las emisiones de CO₂ sobre el cambio climático utilizando modelos climatológicos como el modelo FUND, desarrollado por el IVM holandés. Los resultados obtenidos estiman que los daños producidos, en el ámbito global, por cada tonelada de carbono emitido, supone un coste de 10 Euros. La cantidad de CO₂ emitida por los distintos combustibles y por cada kWh producido en cada caso son los siguientes: El lignito emite 1000g de CO₂/kWh; la hulla y antracita 800 g/kWh; el fuel oil 900 g/kWh; el gas natural 400 g/kWh. La energía nuclear, eólica y fotovoltaica producen cantidades muy reducidas de CO₂, originado en el proceso de fabricación de los componentes de las plantas en el que precisamente se usa energía convencional. A medida que las energías renovables incrementen su presencia en el "mix" energético de los países, se disminuirá el CO₂ imputado a estas energías.

En el caso de biomasa y concretamente cuando se trata de residuos forestales o agrícolas, la emisión neta de CO₂ se considera cero. En el caso de cultivos energéticos y concretamente el

mencionado anteriormente de *Cynara cardunculus*, actúan como sumideros de CO₂ porque parte de él permanece como materia orgánica largos periodos formando parte de la biomasa no aérea de la planta y por tanto no utilizada en la combustión. Se ha estimado que en este caso concreto, por cada kWh producido con *Cynara*, se secuestran 134 gramos de CO₂. Otros estudios que valoran costes del cambio climático obtienen los siguientes valores del daño: Banco Asiático de Desarrollo, 7,85-17,66 \$/t C; Banco Mundial, 5, 20 y 40 \$/t C (1 tonelada de C equivale a 3,67 toneladas de CO₂).

Finalmente querría mostrar cual es la situación de nuestro sistema eléctrico, en cuanto a sus efectos sobre la salud, en relación al resto de los países de la Unión Europea (excepto Luxemburgo pero incluido Noruega). Los valores más altos los presenta Alemania del Este que se presenta independientemente de la Alemania occidental. El daño sobre la salud en ese país oscila de 62,2 a 68,9 ptas/kWh debido fundamentalmente a las características de su tecnología así como de su combustible, principalmente carbón y lignitos. Los valores más bajos (alrededor de 2 ptas/kWh) los presentan los países nórdicos, Noruega, Finlandia y Suecia debido a la gran participación de la hidráulica y otras renovables en su sistema energético, junto a Francia por la elevada producción de energía nuclear en este país. Los daños en algunos países centroeuropeos son elevados (del orden de 10 ptas/kWh en el Reino Unido) porque están muy poblados. En España los daños (de 7 a 9 ptas/kWh) están por debajo de Grecia (de 15 a 20 ptas/kWh), Irlanda (de 7 a 13 ptas/kWh), e Italia (de 9 a 12 ptas/kWh) y muy similares a Portugal.

Con esta exposición he querido poner de manifiesto la importancia de la consideración de las externalidades en el precio de la energía. No cabe duda que la inclusión de los costes externos en el precio de la energía originaría una gran variación en las posiciones de competitividad de las energías renovables frente a las convencionales especialmente en aquellas como la eólica y la biomasa que han alcanzado ya un gran desarrollo tecnológico. Además aseguraría una estructura óptima de fuentes de energía que permitiría satisfacer una determinada demanda energética estableciendo el precio real de la energía y contribuyendo con ello a una más eficiente asignación de los recursos, un mejor funcionamiento del mercado y una economía más eficaz. Esto se traduciría no cabe duda, en una mayor presencia de las energías renovables en el mercado.

Conclusiones

A continuación se recogen las Conclusiones generales de esta intervención:

- El precio de la energía no refleja su verdadero coste para la sociedad ya que en él sólo están incluidos los costes privados o internos originados en su generación y distribución. Existen además otros costes externos, o externalidades, producidos en el proceso y no asumidos por el productor, que recaen indiscriminadamente sobre la sociedad y es la que paga por ellos.
- Las externalidades más importantes derivadas de la generación de energía, están relacionadas con los efectos sobre la salud de la población y sobre el medio ambiente: impactos sobre los bosques, ecosistemas naturales, cultivos agrícolas y cambio climático. Sin embargo, no todas las opciones energéticas tienen las mismas consecuencias adversas sobre la sociedad y el medio ambiente, por lo que la valoración económica y su consideración en el coste total, puede hacer más atractivas determinadas energías, a pesar de su aparente mayor coste de producción. Este es el caso de las energías renovables.
- Utilizando la metodología "ExternE", desarrollada recientemente por varios equipos europeos, se han valorado económicamente las externalidades medioambientales de los diferentes ciclos de combustible, incluidos algunas energías renovables y una potencial planta de fusión. A pesar de las incertidumbres de la metodología, los resultados indican que los costes externos de las energías convencionales son muy superiores a los de las "nuevas energías" por lo que su inclusión (internalización) en el coste total de la energía incrementaría la competitividad de estas últimas y supondría una mayor participación de esas energías en el mercado energético.