REAL ACADEMIA DE INGENIERÍA

ENERGÍA, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA

DISCURSO DEL ACADÉMICO ELECTO

EXCMO. SR. D. ELOY ÁLVAREZ PELEGRY

LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN PÚBLICA
EL DÍA 27 DE MARZO DE 2012

Y CONTESTACIÓN DEL ACADÉMICO

EXCMO. SR. D. JOSÉ LUIS DÍAZ FERNÁNDEZ

MADRID MMXII

ENERGÍA, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA

REAL ACADEMIA DE INGENIERÍA

ENERGÍA, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA

DISCURSO DEL ACADÉMICO ELECTO

EXCMO. SR. D. ELOY ÁLVAREZ PELEGRY

LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN PÚBLICA
EL DÍA 27 DE MARZO DE 2012

Y CONTESTACIÓN DEL ACADÉMICO

EXCMO. SR. D. JOSÉ LUIS DÍAZ FERNÁNDEZ

MADRID MMXII

Editado por la Real Academia de Ingeniería
© 2012, Real Academia de Ingeniería
© 2012 del texto, Eloy Álvarez Pelegry y José Luis Díaz Fernández
ISBN: 978-84-95662-49-1
Depósito legal: M-10.409-2012
Impreso en España

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 7

2. SOBRE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA 9

3. TECNOLOGÍAS Y ENERGÍAS 17

4. ESTRUCTURA ENERGÉTICA Y SEGURIDAD DEL SUMINISTRO 36

5. SOBRE UNA ECONOMÍA BAJA EN CO_2 46

6. REFERENCIAS 60

CONTESTACIÓN 67

Excelentísimo Sr. Presidente de la Real Academia de Ingeniería.
Excelentísimas Señoras y Señores Académicos.
Señoras, señores, amigos.

1. INTRODUCCIÓN

Debo comenzar por lo que me parece que es lo primero, agradeciendo la confianza que los miembros de esta Real Academia han puesto en mi, para ser miembro de la misma. Es para mí un honor contar con este reconocimiento y espero paliar las lagunas de mis conocimientos y merecimientos, con trabajo y dedicación a los fines de esta Real Academia.

El título de este discurso de ingreso, da pie a una diversidad de contenidos. Mi intención es tratar la energía, la tecnología y la ingeniería, examinando sus posibles interrelaciones. A pesar de que la energía da comienzo al título de este discurso, comenzaré por tratar los aspectos de tecnología e ingeniería para examinar, más adelante, ciertos aspectos del mundo energético actual que me parecen de particular interés, a saber: la estructura y dependencia energética; y las tendencias hacia una economía y una energía bajas en CO_2.

La tecnología no solo es consustancial con la energía sino que además es la base de cambios y "revoluciones" que están dando origen a nuevas tendencias. La ingeniería está íntimamente ligada a la tecnología, aunque hoy en día el predominio del uso de las voces, ciencia y tecnología, hacen que la ingeniería no tenga el protagonismo que le corresponde. Por ello, me permitiré realizar algunas consideraciones sobre lo que entendemos por tecnología e ingeniería.

Dado que la tecnología es clave para la energía, convendría ilustrar de forma convincente semejante afirmación, para lo cual creo que es obligado tratar las tecnologías energéticas. Dada la imposibilidad de tratar todo el espectro de tecnologías asociadas a la ener-

gía y la dificultad de acometer un análisis riguroso, me he permitido centrar este discurso en aquellas que están relacionadas con el petróleo, el gas natural y la energía eólica.

Tampoco es sencillo acometer un análisis minucioso de la energía, si no la examinamos en su conjunto. En la energía, hay varias energías. Sabemos que bajo el título general podemos hablar del petróleo, del gas, del carbón, de la electricidad o de renovables y, si miramos la energía desde el lado de su uso final, hemos de examinar los empleos finales de la energía en los principales sectores consumidores, al menos, en el transporte, la industria y el sector residencial. Por ello, examinaré la energía desde el punto de vista de la estructura energética, para poner ésta en contexto y señalar la importancia relativa de las distintas energías primarias y finales.

Del estudio de la estructura energética surge como obligado asunto la seguridad energética, que de forma regular es objeto de preocupación y de diseño y el análisis de políticas energéticas. Por ello, tras examinar el tema de la estructura y usos de la energía, me referiré a la dependencia energética.

Hoy se consolida la búsqueda de estructuras energéticas bajas en emisiones de CO_2, lo cual implica que todos los sectores (transporte, industrial, residencial) hagan un uso final de la energía más eficiente y con menos emisiones específicas de CO_2. En esa economía baja en CO_2 a la que hoy aspiramos, la electricidad jugará, previsiblemente, un papel significativo. Por otra parte, si pretendemos ir hacia una economía baja en emisiones de CO_2 necesariamente tendremos que analizar con mayor profundidad los aspectos de intensidad energética y de emisiones relacionados con la economía.

La crisis económica, los cambios en Europa, la búsqueda del crecimiento por la vía de la competitividad, la productividad, la innovación, la tecnología y la formación, son hoy llamamientos casi continuos y retos para contribuir al desarrollo de una energía y de una sociedad mejor.

Los ingenieros vivimos en sociedad y trabajamos como el "homo faber", fabricando utensilios y máquinas que procuren el bienestar de los ciudadanos. Vivimos en sociedad y debemos participar en ella. Por consiguiente, deberíamos sugerir líneas y políticas de acción, que contribuyan a mejorar la seguridad, el bienestar y la competitividad de la energía. No obstante, tratándose de un tema tan amplio y complejo que, además, cuenta con múltiples interrelaciones con otros sectores y políticas, la tarea está lejos de ser fácil.

2. SOBRE TECNOLOGÍA E INGENIERIA

Para explicar el papel que la tecnología tuvo en las conquistas y en los desarrollos de los imperios desde el Siglo XV., Headrick (2011), define la tecnología, como todas las formas de utilización de los materiales y la energía de su entorno, que los seres humanos aplican a sus propios fines, más allá de lo que pueden hacer con su cuerpo.

En esa definición, incluye los artefactos, las instalaciones, los animales domésticos, y las habilidades necesarias para utilizarlos, así como para manejar o gestionar los sistemas en los que se ubican. Según esta definición, tocar el violín, montar a caballo, hablar por teléfono o utilizar medicamentos, son ejemplos de tecnologías o de su uso; resultado del ingenio humano. La historia de la tecnología, es la historia de la creciente capacidad de los seres humanos para manipular la naturaleza; desde las hachas de la edad de piedra, hasta las bombas nucleares, desde las canoas, construidas mediante el vaciado de troncos, a los superpetroleros, desde la jardinería a la ingeniería genética.

Julio Caro Baroja (1983), en un libro en el que, entre otros temas estudia y describe la evolución de los molinos eólicos en España, critica las definiciones relativas a la técnica y a la tecnología, por su excesivo esquematismo intelectual en la explicación del desarrollo de los procesos técnicos. Para él, la tecnología es el estudio de los métodos, sistemas, herramientas, máquinas y substancias empleadas en los trabajos, que constituyen una de las bases de la vida de las sociedades humanas del pasado y del presente. "τέχνη"[1] en griego,

es lo que en castellano llamamos "arte u oficio". En el lenguaje común se usan varios derivados de esta palabra como técnica, "técnicas" y la misma voz "τεχνολογία"[2] que se equipara a la ciencia o conocimiento sobre las artes y los oficios.

Debido al interés que tiene la relación de la técnica con la ingeniería, me parece de interés mencionar como Mitcham (1994) indica, que la expresión actual griega de "tekton", es similar a la del sanscrito "taksan", que significa carpintero o constructor. También se podrían comparar "takkss" en hitita (unir, construir) y en el latín "texere", que es tejer y, por tanto, de modo figurado construir. En la literatura, no filosófica "techne", se refiere a inteligencia y agudeza, para conseguir y hacer. En definitiva, significados todos, que entiendo muy cercanos a nuestro oficio y profesión de ingenieros.

Desde un punto de vista filosófico, la técnica la define Ortega y Gasset (1939), como la reforma que el hombre impone a la naturaleza en vista de la satisfacción de sus necesidades. Las necesidades son imposiciones de la naturaleza al hombre. El hombre responde imponiendo a su vez un cambio a la naturaleza.

La técnica es para Ortega y Gasset, una reacción enérgica, contra la naturaleza o la circunstancia que lleva a crear entre ésta y el hombre una nueva naturaleza puesta sobre aquélla, una sobrenaturaleza; y llama la atención sobre el hecho de que, la técnica no es lo que hace al hombre satisfacer sus necesidades, ya que esta expresión valdría también, para el repertorio biológico de los actos animales.

La técnica es la reforma de la naturaleza, de esa naturaleza que nos hace menesterosos y necesitados, reforma, en el sentido tal, que las necesidades a ser posible son anuladas y su satisfacción deja de ser un problema. Es decir, no debemos presentar la técnica como una reacción a las necesidades orgánicas o biológicas, más bien la técnica es la adaptación del medio al sujeto.

Como necesidades suelen identificarse las más elementales e ineludibles, pero para Ortega y Gasset, la vida para el hombre no supone el simple estar, sino "bien estar". Solo siente como necesidades

las condiciones objetivas del estar, porque éste a su vez es supuesto de bien estar, dado que ésta es la necesidad fundamental del hombre, la necesidad de las necesidades.

La distinción de Ortega y Gasset se enriquece con la visión de Arendt (1996), quien distingue entre labor y trabajo. Laborar significaba, para los antiguos, estar esclavizado por la necesidad y esta servidumbre era inherente a las condiciones de la vida humana. Así la actividad laborante, se concentra en la vida y su mantenimiento. El "animal laborans" llevado por las necesidades de su cuerpo, no usa este cuerpo libremente, como hace el "homo faber" con sus manos, que son sus herramientas principales.

Pero ningún trabajo puede realizarse sin útiles. El nacimiento del "homo faber" y de un mundo de cosas hechas por el hombre, son contemporáneos del descubrimiento de los útiles e instrumentos. Desde el punto de vista de la labor, los útiles fortalecen y multiplican la fuerza humana hasta el punto de casi remplazarla.

Así pues, continua Arendt, el trabajo de nuestras manos, a diferencia del trabajo de nuestros cuerpos, fabrica la interminable variedad de cosas cuya suma total constituye el artificio humano. La fabricación[3] es el trabajo del "homo faber". La solidez inherente a todas las cosas, incluso las más frágiles, procede del material trabajado pero este material no se da simplemente, como los frutos del campo y los árboles que podemos coger sin modificar la familia de la naturaleza.

El material ya es un producto de las manos humanas, que lo han sacado de su lugar natural, ya cercenando un proceso vital, como cuando debemos cortar un árbol para que proporcione madera o interrumpiendo uno de los procesos más lentos de la naturaleza, como el caso del hierro, el carbón, el mineral de uranio o el petróleo, extraídos de las entrañas de la tierra. Este elemento de "violencia" está presente en toda fabricación.

La invención de la máquina de vapor, que llevó a la revolución industrial, todavía estaba caracterizada, por la imitación de los procesos naturales y el empleo de fuerzas naturales para objetivos

humanos. En etapas posteriores, que se pueden caracterizar, fundamentalmente por el uso de la electricidad y del petróleo, ya no pueden describirse en términos de ampliación y continuación. Aquí ya no usamos los materiales de la forma que los produce la naturaleza.

He comenzado con una definición de tecnología que proviene de un texto que examina, su evolución en un dilatado periodo de tiempo y que resulta bastante descriptiva. También conviene referirse a la definición, más concisa, de la Real Academia de la Lengua, en dos de sus acepciones, aquélla a la que se refiere como un conjunto de conocimientos propios de un oficio mecánico o arte industrial, y la que la define como el conjunto de instrumentos y procedimientos industriales de un determinado sector o producto. La tecnología es pues conocimiento que consiste en "averiguar, por el ejercicio de las capacidades intelectuales, la naturaleza, las cualidades y las relaciones de las cosas".

La definición de tecnología contiene la del conocimiento y por tanto está asociada a un proceso intelectual. Ello lleva a la tradicional distinción entre trabajo intelectual y trabajo manual. El que trabaja con la cabeza o el que trabaja con las manos. Pensar, es presumiblemente la actividad de la cabeza, pero puede ser como el laborar que no deja huella permanente. De nuevo para Arendt, cuando se desea dejar algo tangible, se han de usar las manos y plasmar mediante la escritura un objeto tangible. Por tanto, el trabajo intelectual también se debe a la concepción del "homo faber".

Si se insiste en esta continua referencia al "homo faber", es porque creo que encaja muy bien con la de la ingeniería y tecnología. Cabe preguntarse dónde está el conocimiento. Dicho de otra manera, dónde se encuentra la ciencia o dónde hallaríamos al "homo sapiens". Una respuesta, para mi satisfactoria, es la que Cohen[4], señala al indicar que los seres humanos fueron "homo faber" antes de ser "homo sapiens". Mediante procesos técnicos y, gracias a la lenta acumulación de habilidades y destrezas, a partir de las combinaciones y recombinaciones de las herramientas y las experiencias de numerosas personas y de generaciones, termina configurándose la tecnología en ciencia.

Hemos identificado a la ciencia y el conocimiento, relacionados con la tecnología, pero parecería que, deberíamos encontrar algunos elementos comunes, de tal manera, que nos permitiera construir una teoría sobre lo que entendemos por tecnología, más allá de la aplicación de la ciencia, definición que ya hemos visto que peca de reduccionista.

Me permitiré aquí, referirme a Arthur (2009), que caracteriza la tecnología, como un medio para conseguir un fin o un propósito, y en la que los medios pueden ser, tanto equipos técnicos como procesos o métodos. La tecnología es pues, también un conjunto de prácticas y componentes e incluye el conjunto de mecanismos y prácticas de ingeniería, que se encuentran accesibles en un momento determinado o en una cultura en particular.

Hay otros aspectos, que señala Arthur, que para mí son de particular interés, si uno piensa en algunas tecnologías energéticas, sea una central térmica, de carbón o de gas; o una central nuclear, una planta de licuefacción o de regasificación o una refinería. Para este autor, las tecnologías, se pueden caracterizar también por su estructura que, bajo algún principio director, combinan, a su vez, subsistemas o subtecnologías.

Para él, la ingeniería tendría dos factores básicos, uno relacionado con la aplicación de ciertas soluciones normalizadas o estandarizadas y otro, que me permito resaltar, que es la visión de la ingeniería como enfoque de la búsqueda de solución a problemas. Nuevos problemas, que encontramos en las actividades y asuntos que ya están en funcionamiento. Pero quizás, el rasgo más distintivo es el relativo a nuevos proyectos, ya que un nuevo proyecto plantea nuevos problemas.

Ingeniería

Hemos tratado de llevar a cabo algunas reflexiones sobre la técnica y la tecnología. Cabe ahora preguntarse por el papel que tiene la ingeniería y qué consideraciones podemos hacer sobre la misma.

Como señala Florman (1996), los ingenieros se lamentan continuamente de la confusión que supone el significado de la palabra ingeniería aunque, en general, se reconoce que la ingeniería es el arte o la ciencia de llevar a cabo aplicaciones prácticas a partir del conocimiento. Un elemento de la ingeniería es el conocimiento de la ciencia; lo que implica creer en ella y utilizarla; así como creer en las verdades científicas, supone, en general, verificarlas por medio de la experimentación. Lo anterior implica un sentido pragmático. Por tanto, predominan en la ingeniería los juicios de realidad sobre los juicios de valor o la ideología.

Una vez que hemos identificado los elementos de aplicación y de cercanía a la realidad más inmediata, surge la cuestión de su finalidad. La definición de la Real Academia de la Lengua no lo resuelve ya que la ingeniería es el "conjunto de conocimientos y técnicas que permiten aplicar el saber científico a la utilización de la materia y las fuentes de energía", definición que de alguna manera completa Tredgold[5] cuando define la ingeniería como "el arte de dirigir las grandes fuerzas de la naturaleza para el uso y la conveniencia del hombre".

La definición del la Real Academia de la Lengua, parece establecer como base, cuasi-única el saber científico, suponiendo una relación causal entre ciencia y aplicación. El Excmo. Académico Aracil Santonja (2012), en la sesión inaugural de este año en ésta Real Academia, señala que, afirmar que la ingeniería es exclusivamente ciencia aplicada, comporta asumir que los productos de la ingeniería son únicamente aplicaciones del conocimiento científico, sin tener en cuenta la aportación relevante de la ingeniería o de los ingenieros, que sin desarrollar aplicaciones científicas, han contribuido notablemente a la ingeniería. Estas afirmaciones las corrobora, con ejemplos, como el caso de los hermanos Wright, en los comienzos de la aviación, o el control de las máquinas en la fabricación del papel; y añade que a fuer de simplificar, la ciencia se inclina por el saber y la ingeniería por el hacer.

Entre mis recuerdos de los estudios en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, en los primeros años de carrera, encuentro

la de numerosas clases de matemáticas, física, química y, posteriormente, entre otras, las de mecánica de fluidos, resistencia de materiales, electrotecnia y metalurgia, todo ello, en una sucesión de días grises y casi iguales en una Asturias lluviosa. Las numerosas horas de estudio y de trabajo, tenían un resultado positivo si en el examen, se resolvían bien los problemas.

Esta breve digresión sentimental, pretende indicar, un sentido de finalidad en el que se podrían identificar dos características que a menudo se atribuyen al ingeniero. Por un lado, se encuentra su disposición y vocación, para resolver problemas; y por otro, la mentalización de que dicha resolución requerirá esfuerzos, normalmente continuados.

Cuando comenté esta definición con mi compañero de carrera Isaac Álvarez, me recordó que uno de nuestros profesores recalcaba que el ingeniero resuelve las cosas, pero teniendo muy en cuenta el coste, lo que hoy denominaríamos, siguiendo la denominación anglosajona "siendo eficaces en coste".

Para Wikipedia, la función principal de ingeniero es la de realizar diseños o desarrollar soluciones tecnológicas para las necesidades sociales, industriales o económicas. Para ello, el ingeniero debe identificar y comprender las dificultades más importantes, algunas de naturaleza física. También ha de considerar otros factores como el coste, las prestaciones y las consideraciones medioambientales, estéticas o comerciales. Mediante la comprensión de los obstáculos y de las dificultades, los ingenieros buscan las mejores soluciones.

Esta definición sugiere a su vez la cercanía con la teoría económica. En los estudios básicos de microeconomía, tanto en la teoría del consumidor como en la de la producción, la función objetivo es maximizar la utilidad o el beneficio sujeto a restricciones, las presupuestarias del consumidor o las de costes de la función de producción.

Hay otros dos aspectos de la ingeniería que, en mi opinión, pasan en ocasiones desapercibidos, pero que son también importantes. El

primero es el papel que tiene la ingeniería en la I+D+i. Si pensamos en los denominados centros tecnológicos, es posible identificar la investigación pura o aplicada y desarrollos tecnológicos, productos o servicios, que se crean como consecuencia de la investigación. Sin embargo, es fácil visualizar, que no es posible que haya prototipos o desarrollos tecnológicos, que no cuenten con la ingeniería, entendida ésta en el sentido tradicional. Por tanto, parece que aquí bien podrá añadirse otra I de Ingeniería a la I+D+i, ya que queda subsumida en la expresión habitual.

El segundo aspecto tiene mucho que ver con el rol de la ingeniería en las instalaciones energéticas o industriales, que se encuentran en operación. No resulta fácil concebir, una operación segura, fiable, con elevada disponibilidad y económicamente eficiente, si no contamos con el conocimiento, la experiencia y las habilidades del ingeniero. Aquí podemos incluir no solo las instalaciones transformadoras o distribuidoras de energía, sean refinerías, centrales térmicas, parques eólicos o redes de distribución eléctrica; sino también aquellas industrias que utilizan energía y que dada la casi universal necesidad de ésta, pueden considerarse ampliadas al conjunto de instalaciones industriales.

En este sentido es importante que la cultura ingenieril e industrial, no solo no se pierda sino que se potencie; ya que es condición necesaria, pero no suficiente, para un suministro energético fiable.

Me gustaría finalizar este apartado, con una reflexión. En lo que hemos visto hasta ahora podríamos decir que, la ingeniería y el ingeniero están, hasta cierto punto, rodeados de la ciencia y la tecnología. La habitual referencia de los medios de comunicación a ambas voces, dificulta la presencia de la ingeniería como un valor diferenciado y más propio, a lo que se añade la dificultad de la adjetivación. Hay muchas tecnologías, en la energía ya nos referiremos a varias de ellas, la del petróleo, la del gas, la de los ciclos combinados, la eólica; pero en general prevalece el nombre respecto al apellido.

Ahora bien, por su carácter finalista de resolución de problemas, quizás porque las fronteras entre los conceptos de ingeniería y tecno-

logía, se han ido modificando o bien, por el carácter más interdisciplinar de la ingeniería y, quizás también, porque en los medios de comunicación la tecnología transmite complejidad y modernidad, la ingeniería queda, en general, en un espacio no muy bien definido y por ende con dificultad de trasmitir a la sociedad sus roles y funciones.

3. TECNOLOGÍAS Y ENERGÍAS

Una vez realizadas estas reflexiones, me gustaría referirme, ahora, a ciertas tecnologías del ámbito energético. Decíamos al comienzo, que trataríamos las del petróleo, el gas natural y la eólica. Naturalmente, no se pretende ser exhaustivo al respecto. Mi intención es tratar algunas que han tenido un particular impacto o que pueden considerarse especialmente relevantes. Asimismo, veremos que pueden estar muy relacionadas con el entorno económico o institucional.

Debido a estas influencias o relaciones, me permitiré, en ocasiones, y a pesar del título de este apartado, hacer algunas consideraciones que tiene un carácter bien económico, bien estratégico o bien de reflexión sobre algún aspecto de la situación energética actual.

Petróleo

En el petróleo, los desarrollos en tecnología e ingeniería no pueden desligarse de las condiciones del entorno económico. Así, en el sector petrolero, durante el periodo entre 1986 y 1998, en el que los precios del petróleo se mantuvieron bajos (entre 13 y 24 dólares nominales por barril (Sluyterman, 2007)), y en que predominaron los criterios de la liberalización y del mercado, se impulsaron los esfuerzos para reducir costes y mejorar la flexibilidad de las operaciones.

Se desarrollaron nuevas soluciones tecnológicas para afrontar una situación de menores ingresos y mayores costes. A lo largo de esos años, la industria del petróleo desarrolló numerosas iniciativas. Quizás la más significativa fue la sísmica tridimensional. Con la ayuda de ordenadores de gran capacidad de respuesta, velocidad de pro-

ceso y "software" avanzados; los geólogos e ingenieros eran capaces de tratar y analizar una enorme cantidad de datos y representar en tres dimensiones las imágenes de las estructuras, de la cuenca o del yacimiento, mejorando así la comprensión de la ubicación, la disposición y las estructuras de las reservas de petróleo y de gas.

Esto permitió perforar los pozos de exploración con mayor precisión, diseñar nuevas instalaciones más eficazmente y optimizar la utilización de las infraestructuras existentes. Gracias a ordenadores más rápidos y mejores programas o paquetes de "software", cálculos que llevaban meses, se podían realizar en cuestión de días. Así por ejemplo, Shell que antes de 1985 llevaba a cabo sísmica 3D en unos 4.000 km^2, cubrió en el año 1990 unos 16.000 km^2, tanto en tierra como en mar.

Una tecnología que ya era conocida en 1929, que tuvo su desarrollo en ese periodo y que ha resultado ser clave, para el desarrollo del gas no-convencional, es la perforación direccional. El petróleo que normalmente se "bypasaba", en los pozos verticales no pudiendo acceder al mismo, se puede extraer mediante la perforación direccional. Aunque ésta tenía mayor coste que los pozos verticales, compensaba por las mejoras en productividad y los incrementos de producción. Los costes de perforación se pueden reducir, perforando pozos de menor diámetro mediante los denominados "slim hole drilling". Esta tecnología hizo posible perforar pozos de diámetro tan pequeño, como cuatro pulgadas (unos 10 cm) de diámetro, hasta 5.000 m de profundidad.

Ello también hizo posible reducir el tamaño de la plataforma de producción, la superficie de trabajo necesaria, los lodos de perforación, la cementación y el transporte, contribuyendo con todo ello a disminuir los costes. Como la perforación normalmente suponía más del 50% de los costes de exploración y desarrollo del campo de producción, reducirlos resultó decisivo en periodos de bajo precio del crudo (Sluyterman, 2007).

Además, las plataformas sin personal en campos de petróleo pequeños, las plataformas de patas tensionadas ("Tension Leg Plat-

forms"), los sistemas flotantes de producción, almacenamiento y descarga y las instalaciones submarinas con colectores ("manifolds"), que recogen la producción de varios pozos, así como las mejoras, tanto de tuberías flexibles como del sistema vertical de producción ("risers"), hicieron posible reducir los costes.

El desarrollo de la exploración y producción "offshore", experimentó desarrollos ingenieriles y tecnológicos desde la década de los ochenta con profundidades de 400 m en 1978 (p.ej. plataforma de Cognac), 700 m en 1989 (Petrobas). Se llega a 1.200 m en Ursa en 1999 (Shell) y se consiguieron 1.400 m en 1997 (Petrobas). Mayor profundidad se alcanzó, 1.800 m en 1999 (Petrobas), llegando a los 2.200 m en Na Kina en 2003 (Shell). Como se puede observar, profundidades crecientes que fueron pasando progresivamente de tecnologías de plataformas fijas (0-500 m) a plataforma fija de acero (300-900 m), a la de patas tensionadas (TLP) (150-1.500 m), a mástiles ("spar") (500-2.000 m) y a las instalaciones submarinas (0-3.000 m) (Luna, 2012).

Un ejemplo de desarrollos tecnológicos "Offshore" es el campo Roncador explotado por Petrobras, que se encuentra a una profundidad de unos 1.800 m y que se decidió explotar mediante un sistema flotante de producción, almacenamiento y descarga (FPSO). Este proceso continua con las investigaciones y pruebas para la explotación de petróleo en aguas ultra profundas en la "cuenca presal" en la costa Brasileña.

Así pues, la tecnología ha posibilitado, que los niveles de recuperación de petróleo en los yacimientos que, históricamente, se encontraban en el 25-30%, alcancen cifras, en algunos casos, del 50% y ha permitido el acceso a nuevos recursos, disminuyendo tanto los costes de exploración y producción como los operativos. Ello ha tenido como consecuencia un aumento de la producción y de las reservas, mientras que se producía un incremento de la tasa de declino de los yacimientos existentes. Con todo, las evaluaciones, en la actualidad, consideran que es necesario, no solo continuar con las mejoras en la recuperación de petróleo, sino también descubrir nuevos yacimientos. Teniendo en cuenta que existen unas 1.800 cuencas sedimentarias de las cuales unas 1.600 están exploradas, la opinión más generalizada, en este momento,

es que ante una continua demanda de petróleo, proveniente, fundamentalmente, de los países no OCDE y asumiendo una política concertada de la OPEP, así como las necesidades presupuestarias en algunos países exportadores, para cubrir con los ingresos de las exportaciones, gastos de sus sectores públicos; el precio de crudo presumiblemente se mantendrá alto (Álvarez Fernández, 2011).

Habrán observado, que no he mencionado el tema de las reservas. Solo con examinar las numerosas publicaciones y debates sobre el mismo desbordaría con creces el objeto de este discurso. Sin intención de analizar el tema, me referiré al Excmo. Académico Sr. D. José Luis Díaz Fernández, maestro de Ingenieros de Minas, y excelente conocedor del mundo del petróleo y de la energía, a quien agradezco su saber y a quien desde los inicios de mi vida profesional, le oí decir que quedaba petróleo para 40 años. Recientemente, ha puesto de manifiesto, cómo entre los años 1990 y 2010, las reservas crecieron un 38%, pasando la relación reservas-producción de 42 a 46 años (Díaz Fernández, 2012).

Gas Natural. Gas No Convencional

Ya hemos mencionado la importancia de la perforación direccional en el petróleo. Esta técnica junto con la fracturación o fracturamiento hidráulico, constituyen los dos elementos clave para el desarrollo del gas de pizarras ("shale gas"). Para la producción de gas se debe perforar un pozo y fracturar hidráulicamente la roca en el entorno del mismo. El fluido que se bombea, que puede estar en presiones hasta unos 8000psi, (unos 560 Kg/cm^2) es suficiente para fracturar la roca en el entorno de un kilometro (Andrews *et al.*, 2010).

El fluido (agua, gel, aceites o espuma), mezclado con arenas o partículas, que realiza la fracturación tiene una doble función. Por un lado, abre la fractura y, por otro, transporta las arenas o partículas, que mantienen abierta la fisura. El fluido debe tener la adecuada viscosidad y una baja presión de fricción cuando se bombea. Dicho fluido debe poder recuperarse, "limpiarse" bien y debe facilitar un buen control respecto a la pérdida de fluido. La quí-

mica de dicho fluido puede estar basada, tal como hemos mencionado, en el agua, en geles o en aceites, dependiendo de las propiedades de la formación. Los que están basados en agua son los más usados debido a sus ventajas de coste, rendimiento y facilidad de manejo. En este caso un 99% es agua y el uno por ciento restante, son aditivos.

Las operaciones de fracturación se monitorizan y controlan, a medida que se realiza la fracturación, que se lleva a cabo en varias etapas. Cada una de las mismas puede consumir más de 500.000 galones de agua, unos 1.900 m^3 (una piscina olímpica puede tener 600.000 galones, es decir, 2.500 m^3). La elevada presión de inyección, no solo abre y propaga la fractura, también, impulsa el fluido en los espacios porosos y una parte del mismo, permanece en las fracturas e impide que el gas salga, salvo que se recupere. Cuando este proceso se lleva a cabo y el agua que se recupera tiene sales disueltas y compuestos químicos, se requiere su tratamiento y eliminación (Nash, 2010).

Los procesos de aprendizaje en la producción de gas de pizarras en los Estados Unidos han sido muy notables. Así, para llegar a una producción de unos 20 bcf/d se emplearon unos 80 meses en la cuenca de Barnett, unos 40 en la de Fayetteville y 24 meses en la de Haynesville (Pendás, 2011). Puede decirse que las mejoras en los resultados en perforación y fracturación son rápidas y provienen, en gran medida, de las mejoras en el "know-how", más que de cambios tecnológicos radicales.

Las implicaciones de mercado y estratégicas, en particular en los Estados Unidos son de gran alcance. Las previsiones de producción de gas de pizarra en los Estados Unidos son de gran importancia. Podrían pasar de los 5 bcf/d (unos 51 bcm al año) a más de 25 bcf/d en el año 2025 (es decir, 258,4 bcm al año). Se estiman precios competitivos, inferiores a los 4$/MMBtu, que pueden ser de 2$/MMBtu para algunos pozos de la cuenca de Marcellus, si se considera una producción de condensados de 25 bl/MMcf y un precio medio de estos de 80$/bl. Utilizando datos de costes del año 2007, una parte sustancial de los recursos potenciales de gas

de pizarra es "económica" a precios de entre 4 y 8 $/MMBtu (MIT, 2011). Para los Estados Unidos es una gran noticia, ya que los precios bajos del gas están revitalizando la industria y mejorando su capacidad de autoabastecimiento.

El efecto del "shale gas" en Europa será distinto. Por una parte, dependerá del desarrollo real de las potencialidades existentes. Polonia pretende desarrollarlo mientras que, en Francia, probablemente, la política nuclear y su estructura energética y empresarial, así como una oposición inicial a su desarrollo, están ralentizando el mismo por el momento. En España, las posibilidades existen a juzgar por el aumento de peticiones de permisos de investigación y los anunciados desarrollos en el País Vasco. La exploración y la eventual producción de gas (sea o no convencional), en un país que importa más del 99% del mismo, como en nuestro caso, no solo contribuye al autoabastecimiento, sino que también representa una oportunidad clave para la ingeniería y la industria del país.

Finalmente, en cuanto a las reservas de gas con estimaciones de costes atractivos, el gas natural parece contar con buenos augurios. El MIT (2011), evalúa unas posibilidades de 9.000 Tcf de gas, es decir 254.851 bcm, con un coste de unos 4$/MMBtu, que en su estimación, es el coste actual de la cadena de GNL. Recursos que pasan a 9.000-12.000 Tcf con precios de unos 6$/MMBtu.

En las mejoras tecnológicas a medio y largo plazo, parece que se vislumbran tres líneas diferentes, en la perforación, en la recuperación del gas mejorada con inyección de CO_2 y en las técnicas sísmicas (MIT, 2011).

En la perforación, como los recursos no convencionales requieren una elevada densidad de pozos, la tecnología, puede reducir los costes del mismo e incrementar la superficie de contacto del pozo con el área del yacimiento. De esta manera se mejora la productividad y el grado de recuperación y como hemos indicado, se pueden crear numerosas perforaciones direccionales ("Multilateral Drilling") a partir de un pozo vertical. Esto supone la disminución de costes para los futuros desarrollos del gas no convencional.

La recuperación del gas con inyección de CO_2, permitirá mejorar la recuperación y almacenamiento del CO_2. En cuanto a las técnicas sísmicas, la micro sísmica se utiliza, habitualmente, para estimar la longitud y la orientación de las fracturas inducidas en el yacimiento. Presenta entre otras ventajas, el hecho de que puede utilizarse para mejorar la eficiencia de la fracturación.

Plantas de licuefacción

La tecnología no solo está afectando a la industria del gas natural por el lado de la exploración y producción. A riesgo de simplificar, hay otros dos elementos clave que están teniendo una considerable influencia en el mundo de la energía. A mi juicio estos son, las plantas de licuefacción y los ciclos combinados.

Desde la entrada en operación comercial de la planta de licuefacción de Camel, en Argelia, en 1964 para transportar gas al Reino Unido (que contaba con el precedente del transporte de GNL desde Lake Charles, en EE.UU, a Canvey Island, en el Reino Unido), la industria ha experimentado notables crecimientos en capacidad, tanto en el tamaño de las unidades de los trenes como en la capacidad total; pasando de capacidades de planta de un millón de toneladas al año a casi seis millones en un periodo de unos cuarenta años. La tecnología predominante ha sido la de refrigerante mixto de APCI[6]. Esto ha venido acompañado de una disminución de los costes unitarios de inversión de las plantas que se situaron en el entorno de 200 $/ton en el año 2004 para la planta de Damietta, que con una capacidad de más de 5 Mton/año, constituyó, en su momento, un hito en la industria (Álvarez Pelegry *et al.*, 2003).

La complejidad de los procesos en la planta y de los equipos involucrados (intercambiadores, compresores del refrigerante, máquinas de accionamiento, columnas de fraccionamiento de condensados, sistemas de depósitos de refrigerantes, enfriadores y condensadores, etc.) hacen que la tecnología y la ingeniería de estas plantas, no solo sea un reto, sino también un ejemplo de ingeniería y tecnología en el mundo de la energía.

No creo que fuese "justo", si al referirme a las plantas de licuefacción, no mencionase la apuesta estratégica y empresarial, del proyecto de Unión Fenosa, en la planta de licuefacción de Damietta. La planificación del proyecto, la identificación del proceso de licuefacción más adecuado, la elección de las ingenierías, entre ellas varias españolas, la ejecución en tiempo record y con el coste previsto, de la planta de mayor capacidad del mundo, en ese momento, que comenzó a operar de forma regular en las fechas previstas; revelan la capacidad y el acierto en la concepción e implantación de la ingeniería, en un proyecto de gran envergadura.

Un proyecto requiere la concertación de numerosas personas, recursos y factores. Sin embargo, creo que el éxito del proyecto de la Planta de Licuefacción de Damietta (en el conjunto de una cadena de gas integrada), fue posible gracias al liderazgo tranquilo, la inteligencia y la capacidad para la identificación y resolución de problemas, de Elías Velasco; ingeniero con quién trabajé muchos años en un ambiente de confortable exigencia.

Decíamos que el desarrollo del GNL modificó los desarrollos e introdujo cambios en la estructura de la industria de gas en el mundo. A finales de 2010, estaban operativas 25 plantas con 94 trenes de licuefacción en 18 países. En el año 2010, se pusieron en operación, cuatro nuevos trenes, dos en Qatar, uno en Yemen y otro en Perú. La capacidad nominal de licuefacción ascendía a finales de 2010 a 594,1 bcm (269,6 Mtpa) (Martínez Díaz, 2011).

La construcción y puesta en operación de plantas de licuefacción en los países exportadores de gas, ha ido acompañado de la de plantas de regasificación en los países importadores, así como, de una creciente flota de metaneros, que a finales de 2010 ascendía a 360 buques, con tamaños crecientes. De este modo, se observa la evolución hacia un mayor tamaño de los metaneros. Si en 1960, su tamaño era de unos 25.000 m^3, alcanzaron los 72.000 m^3 a finales de dicha década. Durante los años noventa, el tamaño promedio se situaba entre los 90.000 y 149.000 m^3. Hacia 2005, se comenzaron a construir buques de 150.000 a 180.000 m^3. En 2007, comenzaron a em-

plearse buques Q-flex que alcanzaban los 200.000-220.000 m^3 y ya en 2008 aparecieron, en el mercado, los Q-max de más de 250.000 m^3 (Martínez Díaz, 2011).

Las implicaciones estratégicas del desarrollo del GNL para el mundo energético y, en particular para España, son de primer orden, ya que el peso del gas en nuestro "mix" y las infraestructuras en nuestro país, a las que me referiré luego, en cuanto a plantas de regasificación e interconexiones internacionales, nos permite contar con una situación estratégica favorable que, entre otras ventajas, nos permite diversificar y tener alternativas a los suministros ligados a los gasoductos, así como, contar con una mayor variedad y flexibilidad de formas y tipos de contratación.

Desde un punto de vista estratégico, el desarrollo de plantas de licuefacción, indujo una tendencia hacia la integración vertical y al desarrollo de un mercado "spot". Este mercado "spot" se solapa o entra en conflicto con los precios determinados en contratos a largo plazo y, en gran medida, ligados a los precios del petróleo, que en un escenario de precios elevados del crudo, como en la actualidad, induce al desarrollo de alternativas de bajo coste como el gas de pizarra en los Estados Unidos. Todo ello supone un reto para la industria y la conveniencia de desarrollar, en la medida de lo posible, mercados que permitan aprovechar las oportunidades de mejores precios.

Ciclos Combinados

El segundo elemento relativo a la ingeniería y tecnología que mencionaba anteriormente, ha sido el desarrollo de los ciclos combinados. Las turbinas de gas se comparan muy favorablemente con otras máquinas en términos de consumo, rendimiento y ratio de potencia respecto al peso y al tamaño. La combinación del ciclo ideal de Brayton junto con el de Rankine de la turbina de vapor, permitieron lograr rendimientos del 55%, en la década pasada, alcanzando en los últimos desarrollos, rendimientos entorno al 60%. La evolución en rendimientos y tamaño ha sido muy importante.

Los aumentos de rendimientos en los ciclos combinados, han ido parejos con el crecimiento de las temperaturas de combustión (de 950ºC en los años sesenta a 1500ºC más recientemente), de la mejora en el rendimiento (del 45 al 60%) y del aumento del tamaño (de 100 Mw a 570 Mw), correspondiendo los datos de rendimiento y potencia más elevados, a la central de Irsching (Alemania), con una turbina de gas en configuración mono eje.

La importancia para el mundo de la energía y para la generación eléctrica, del crecimiento de potencias y rendimientos en los ciclos combinados, es de tal magnitud, que no lo deberíamos pasar por alto. Hay que pensar en las ventajas de instalar potencias cada vez mayores en emplazamientos reducidos, incrementado la potencia específica por hectárea, las ventajas en rendimientos respecto al coste de generación, la disminución de emisiones, tanto de SO_2 como de CO_2 y los bajos costes de inversión específica.

Por otra parte, los ciclos han puesto de relieve la decisiva importancia del gas natural. Han supuesto un incremento importante de los volúmenes de contratación de gas natural, respecto a los mercados doméstico y/o residencial. Dichos ciclos han impulsado el fuerte desarrollo de infraestructuras y, también han puesto de manifiesto el peso decisivo, en porcentaje y en coste total, que el gas representa respecto al coste de generación eléctrica.

En la actualidad, los retos de la tecnología vienen inducidos por la necesidad de mejorar el rendimiento y la flexibilidad, a lo que no es ajeno su papel, en los sistemas eléctricos con fuerte presencia de energías renovables intermitentes. Para ello, se avanza, entre otros frentes, en calderas de paso único y recalentamiento triple, atemperadores de alta capacidad e innovaciones en el diseño de tuberías para reducir tiempos de arranque. Igualmente, prosigue la búsqueda de mayores rendimientos, entre otros, mediante compresores avanzados de flujo axial y diseños 3D, mayor flujo de aire, reducción de pérdidas, mayores temperaturas de ignición, quemadores secos de bajo NO_x y combustión secuencial, así como con la integración de la refrigeración de la turbina con el ciclo de vapor.

Se prevé, según la Agencia Internacional de la Energía (AIE), que en el año 2020, la capacidad instalada de ciclos combinados ascienda a unos 1.750 GW, lo que supone un incremento de cerca del 35% respecto al año 2009 (la potencia instalada en 2009 era de 1.298 GW). Se espera que el desarrollo mundial de la generación eléctrica se soporte en gran medida en ciclos combinados y que la producción eléctrica con gas natural pase del 14% al 21% a nivel mundial.

En España, la potencia en ciclos es de unos 27.123 MW, que en el año 2011 supuso el 20% de la cobertura de la demanda, con funcionamientos medios de 2.000 horas equivalentes de plena carga. Dichos ciclos, resultan ser cada vez más necesarios para dar fiabilidad y firmeza a la generación eólica y solar.

Esta situación sugiere también una reflexión casi obligada respecto a la flexibilidad de nuestro sistema gasista y, al respecto, cabrían tres elementos a considerar: la capacidad de nuestros almacenamientos, las conexiones internacionales y el papel de los mercados, a los que cabe añadir la regulación y gobernanza del sistema.

En cuanto a la capacidad de almacenamiento, aparte de la existente en el gasoducto, que es reducida y tiene su principal utilidad en el balance diario del sistema, dando flexibilidad a los usuarios, debemos de añadir el almacenamiento en tanques de Gas Natural Licuado (GNL), que representa un buen almacenamiento operativo, dando flexibilidad mensual y semanal a la operación y sirviendo de cobertura ante variaciones de la demanda. En la actualidad, el sistema cuenta con una capacidad nominal de 3 millones de metros cúbicos, en 25 tanques con una capacidad de emisión de 6,8 millones de metros cúbicos hora y una autonomía máxima de 9,6 días (Yunta, 2011).

En los almacenamientos subterráneos, es donde el sistema, a pesar de los esfuerzos realizados, no debería de "bajar la guardia". En la actualidad, el volumen operativo es de 19,7 TWh, lo que supone un ratio de capacidad operativa respecto a la demanda del 5% (Nieto, 2011). La puesta en marcha en el año 2012 de Yela y Castor y el incremento de la capacidad de extracción de Serrablo, supondrán 563 GWh/d, que representa un incremento, más que notable, respecto

a la actual capacidad de 147 GWh/d. Ello supondrá un significativo aumento del ratio para llegar al 12%, pero inferior a la media europea, alejado de países como Francia, con un ratio del 26% del consumo anual del país o Alemania con dicho ratio cercano al 23%, en 2009 (MEDDTL, 2010), y muy lejos de los 90 días de referencia para el mercado del petróleo en el que desde la crisis de 1973 y la posterior creación de la Agencia Internacional de la Energía, ésta promovió como mecanismo de seguridad.

España cuenta con seis plantas de regasificación, ascendiendo a siete, si tenemos en cuenta a Portugal y consideramos el sistema Ibérico (al contar con dos conexiones con Portugal) y que a futuro llegará a ocho plantas, contando con la planta del Musel, en Asturias.

Esta fortísima capacidad de entrada de gas natural licuado, que supone el 75% de nuestras importaciones, se complementa con dos gasoductos y conexiones internacionales con el norte de África, por Marruecos, y directamente con Argelia con el gasoducto del Medgaz.

Las interconexiones con el norte de Europa, donde se encuentra un mercado potencial de gran consumo (el consumo de gas natural en Francia ascendió a 44,8 bcm y el de Alemania a 96,3 bcm, en 2009 (CIA, 2011)), tiene perspectivas más favorables en el horizonte del año 2015 que en la actualidad, en el que la capacidad física se sitúa en 100 GWh/d, equivalentes a 3,1 bcm/año, (en dirección norte y sur, siendo la del sur-norte de 0,9 bcm/año) (Yunta, 2011), que se puede considerar insuficiente.

En el marco de las iniciativas regionales de ERGEG (Grupo Europeo de Reguladores de la Electricidad y el Gas) y dentro de las prioridades de la región Sur, que son la de mejora de la capacidad de interconexión, la interoperabilidad y la transparencia y el desarrollo del Mibgas (Mercado Ibérico del Gas), se ha logrado, tras dos procedimientos de las denominadas "open seasons", asignar capacidad de interconexión y decidir la construcción de capacidad para 165 GWh/d, equivalente a 5,2 bcm, en la conexión con Francia por Larrau, en el año 2013 y, a partir del 2015, en 60 GWh/d por Irún en el sentido de exportación a Francia, lo que representa, en

total, un porcentaje apreciable en el entorno del 20% de la demanda actual (Yunta, 2011).

El peso del gas natural en nuestro "mix" energético y su responsabilidad y repercusión en esta década, ante el progresivo crecimiento de las renovables intermitentes, hace que si bien estos avances deben ser saludados de manera positiva, deberían proseguir los esfuerzos para lograr un desarrollo más completo, en el entorno de unos 400 GWh/d de capacidad de interconexión, lo que supondría alrededor de 12 bcm/año, cifra que daría más estabilidad al sistema y permitiría facilitar el tránsito de gas desde las países exportadores del norte de África a Europa.

Una cuestión relevante para el gas natural, es su competitividad. Aquí surge la cuestión de la relación entre el precio del petróleo y del gas natural. El tema tiene gran amplitud y considerables repercusiones. Baste aquí decir que se pueden distinguir el mercado de los países industrializados del lejano oriente, sin recursos propios de gas, en el que el GNL está básicamente indiciado, en contratos a largo plazo, con el precio del crudo de los mercados internacionales.

El mercado de los EEUU no se ajusta bien a las reglas simplificadas de precios de gas con paridad a los precios de los derivados del fueloil, ni de los poderes caloríficos, ni del fueloil residual, ni siquiera con la regla de 10 a 1 (precio del crudo en $/bl, diez veces el del gas natural expresado en $/MMBtu). Ramberg y Parsons (2010) encuentran que la fórmula, que ajusta mejor los valores, viene expresada como sigue, en donde PWTI y PHH son los precios del crudo "West Texas Intermediate" y el del "Henry Hub" expresados en $/bl y en $/MMBtu respectivamente.

$$PWTI/PHH = 10\sqrt{PWTI/70}$$

Desde el punto de vista más general y para el mercado de los EEUU, la relación entre el precio del crudo y del gas natural en el período 1991-2010, se movió en el amplio rango de 5 a 20 (MIT, 2011), y, du-

rante ese período, el cociente excedió de forma bastante regular el factor de 10 entre el precio del crudo y el del gas.

El caso de los mercados europeos presenta, por un lado, una mayor relación de precios entre gas y petróleo cuando prevalece el suministro por gasoducto (MIT, 2011) y en los casos en los que el mercado "spot" de GNL tiene mayor volumen o importancia, responde más a las dinámicas de la oferta y la demanda de los mercados regionales de GNL.

Energía Eólica

Antes de tratar los aspectos tecnológicos y las implicaciones de los mismos para la industria, nos referiremos a algunos aspectos, que pueden ser de interés.

El impulso de la energía eólica proviene en gran medida de Europa, donde el reto de cubrir un 20% de la energía final mediante renovables recae, significativamente, sobre la generación eléctrica, lo cual ha llevado a que un número significativo de países de la Unión Europea, hayan optado por promoverla. Sin embargo, en los últimos años China y EE.UU, han incrementado la instalación de generadores eólicos superando a Europa[7].

La energía eólica sigue experimentando fuertes crecimientos a pesar de sus altibajos. Durante el año 2010, se instalaron 9 GW de capacidad eólica en la Union Europea (UE), un 10% menos que el año anterior. De los 84 GW totales instalados en la UE27 a finales del 2010, 27 GW corresponden a Alemania y 19 GW a España, lo cual supone casi el 40% de la capacidad total instalada.

En Europa, las instalaciones eólicas representaron casi el 17% de las instalaciones de nueva capacidad en el año 2010, siendo el primer año desde 2007, que la energía eólica no ha instalado más que cualquier otra tecnología de generación. El crecimiento de instalaciones eólicas, que se observa en mercados emergentes europeos, "offshore" en el mar de norte y en tierra en el sudeste de Europa (Rumanía, Polonia y Bulgaria), compensan en parte, la

caída de la capacidad instalada en mercados más maduros (EWEA, 2010).

La capacidad de energía eólica, acumulada a nivel mundial, en 2010, superó los 196 GW y el sector atrajo fuertes inversiones, en general, con mecanismos de incentivación que suponen un mayor coste para el consumidor. Ese mismo año China se convirtió en el país que instaló más potencia eólica, llegando a un valor acumulado de 44 GW; cifra ya superior a la de Norteamérica con 40 GW.

La producción eléctrica eólica supone en torno al 2,5% de la demanda mundial. En Europa, duplicamos ese porcentaje (5,3%). Dinamarca presenta el mayor porcentaje de generación (21%), seguido de Portugal (18%), España (16%) y Alemania (9%). En China, la contribución eólica supone un 1,2% y en Norteamérica en torno al 2%.

A juzgar por estos datos la industria eólica parece presentar un panorama esperanzador. No obstante, considerando la actual crisis económica mundial, la inseguridad en los Estados Unidos respecto a la continuidad del sistema de incentivos, mediante desgravaciones fiscales, y la diversidad de sistemas de apoyo en la Unión Europea, se llega a la conclusión de que el futuro de este sector no está exento de incertidumbre.

Las variaciones globales, en la oferta/demanda de aerogeneradores, y de su precio o coste también se pueden explicar mediante las variaciones del interés en la oferta y demanda. Efectivamente, los precios han variado desde los 1.000 $/kW, durante los años 2005-2006, a en torno a 1.400 $/kW en el año 2008, donde la recesión comienza a acusarse, para llevar de nuevo el precio a niveles en el entorno de 1.000 $/kW (IHS, 2011).

Durante la última década, la industria eólica ha experimentado notables cambios tecnológicos y de modelo de negocio. Por un lado, el tamaño de aerogenerador ha aumentado. Por otro, el desarrollo de los mercados internacionales ha llevado a los fabricantes europeos a "encontrar mercados" en países con mayores crecimientos de la demanda.

Tal y como se acaba de indicar, la industria tiende a fabricar turbinas de mayor tamaño. Los modelos con potencias elevadas se están posicionando para atender futuras demandas, donde este segmento supone una parte significativa del mercado. De hecho, casi todos los fabricantes líderes de aerogeneradores, cuentan con modelos con potencias de 3 MW o superiores.

Siendo la potencia de la turbina un factor importante, se observa que los aerogeneradores entre 1,5-2,5 MW siguen siendo un segmento clave, en particular para el mercado de EEUU, donde existe una fuerte competencia con abundantes fabricantes y modelos.

Para incrementar la potencia del aerogenerador es necesario aumentar tanto la longitud de los álabes, como la altura del propio aerogenerador. Sin embargo, los requisitos de accesibilidad y logística en esos tamaños son ya limitantes (piezas de más de 40 m de largo y de más de 60 toneladas de peso que se deben izar a más de 100 m de altura). Por consiguiente, se tiende a fabricar localmente los componentes de mayor dificultad logística, lo cual supone un reto a la cadena global de valor.

Desde el punto de vista técnico, estos incrementos de longitudes y dimensiones, suponen en operación enormes esfuerzos que, además, son muy fluctuantes, por lo que la fatiga de los componentes es un factor a tener en cuenta (Creus Solé, 2008). En este sentido, también es previsible que se avance en la línea de disminuir el peso y mejorar el rendimiento. Por ello, es posible que los generadores multipolo, con imanes permanentes en el rotor y devanados en el estator, de gran diámetro, ganen importancia en el segmento de las potencias más altas.

La posibilidad de nuevos mercados y la competencia inducen a la globalización, a la multilocalización o a la integración en las cadenas de valor globales. Además, la "necesidad" de aprovechar emplazamientos con un número reducido de horas de viento o en el mar, "offshore", requiere mejoras tecnológicas adicionales con búsqueda de mejores rendimientos, mayor fiabilidad y menores costes, así como, cambios en los modelos de negocio con nuevos es-

quemas tecnológicos o nuevas relaciones entre fabricantes y suministradores.

Los cada vez más numerosos fabricantes de aerogeneradores, se encuentran, actualmente, ante un contexto de diversidad geográfica, de cambios regulatorios y de incentivos económicos. Ante ello, la ingeniería, la tecnología y la industria juegan papeles claves.

En cuanto a los retos tecnológicos, cabe distinguir aquellos que, se asocian a la ingeniería clásica (mecánica, y eléctrica) y abordan los componentes y equipos principales del aerogenerador, con respecto a los que provienen de la necesidad de aprovechar el recurso disponible, en emplazamientos con menor número de horas de viento y ayudas económicas más reducidas. A este respecto, las tecnologías laser, son capaces de mejorar el aprovechamiento del recurso eólico, mediante la medida detallada de la velocidad del viento que se aproxima a las palas, en distancias de hasta 200 m de la turbina. Para ello se instalan diferentes mecanismos Lidar[8] en el cono delantero del aerogenerador. Éste es uno de los métodos de mejora de los nuevos sistemas de observación (Mikkelsen et al., 2009).

Históricamente, el desarrollo de la tecnología eólica se puede caracterizar por los esfuerzos para reducir el número de palas, aligerar el peso del aerogenerador e incrementar la velocidad de giro (Kiameh, 2012). En la actualidad, puede decirse que existen líneas de trabajo relacionadas con los aerogeneradores, orientadas a desarrollar materiales más fuertes y más ligeros, logrando rotores de mayor tamaño, góndolas más ligeras, así como para reducir la dependencia del acero para las torres (AIE, 2009a).

Si bien es previsible que se continúe en estas líneas de mejora, también lo es el hecho de que ahora se consideran además, otros retos, como puede ser la optimización del rendimiento aerodinámico de las palas. El uso de laminados de fibra de vidrio con resina de poliéster coexiste con otras soluciones, que tratan de automatizar los procesos fabriles y utilizar nuevos materiales, que resuelvan o alivien el aumento de carga que conlleva el aumento de potencia.

Otra de las líneas de trabajo, para paliar el efecto de las cargas sobre el rotor consiste en incorporar sensores y monitorizar estos esfuerzos. Se trata de avanzar en la fase de diagnóstico; necesario para poder actuar y disminuir las solicitaciones (Soria Lascorz, 2008).

No es mi intención cubrir aquí el amplio rango de mejora o tendencias tecnológicas en la generación eólica, que son considerables y muy variadas. Puede decirse que se persigue evaluar mejor el recurso eólico, disminuir los costes de mantenimiento y progresar en el campo de la validación, prueba y demostración del conjunto del equipo de la turbina generador, para lograr una turbina inteligente que se autorregula. Las áreas de investigación principales, aparte de las técnicas de modelización y medida del recurso eólico, pretenden lograr máquinas fiables, que utilicen el recurso más eficientemente y optimicen la ubicación del aerogenerador en el parque, integrando la energía eléctrica en la red de la forma más eficaz posible (MEGAVIND, 2007 y AIE, 2009a).

Por otro parte, el desarrollo de la tecnología "offshore" se ha convertido en un elemento a considerar necesariamente por los fabricantes de aerogeneradores. Ello es debido a las instalaciones del mar del norte y de China, donde no solo ha de hablarse de retos tecnológicos, sino también, por la naturaleza de los desarrollos, de retos ingenieriles tanto en los aspectos técnicos como de solución de problemas a nuevos proyectos. Conviene reseñar que el mercado "offshore" mundial ha pasado de contribuir un 2% de la potencia total instalada, en 2009, al 3,5% en 2010 (IHS, 2011).

Es posible que la eólica en el mar sea un elemento dinamizador para los mercados europeos más maduros, pudiendo incluso llegar a cubrir un tercio de la nueva demanda. No obstante, su desarrollo presenta retos adicionales a los que ya se apuntaban, anteriormente, con respecto a la tendencia de aumentar la potencia de los aerogeneradores. El desarrollo de grandes aerogeneradores en el mar supone nuevos retos, por ejemplo, en cuanto a la ingeniería de los materiales, el diseño de la torre y la cimentación.

En las instalaciones de generadores eólicos en el mar, se hace aún más palpable la idoneidad de disminuir el número de componentes y partes móviles. En este sentido, se observa una tendencia a diseñar aerogeneradores robustos y sin multiplicador, que al contar con menos componentes que los necesarios para la construcción de una turbina eólica habitual, reduce los costes de la instalación, infraestructuras y servicios, que podrán permitir aumentar su duración y rentabilidad. Estos modelos comienzan a representar un porcentaje significativo del mercado.

La naturaleza de las instalaciones "offshore", supone elevados costes, tanto en términos absolutos, como específicos, que se estiman entre 2.500-3.500 €/kW_e, por Ecofys (2011), lo que supone más que triplicar la inversión específica, que no se compensa con el mayor número de horas de funcionamiento. Además, debe contarse con las inversiones necesarias para las conexiones submarinas y la integración en la red, desde zonas que probablemente requerirán inversiones para reforzar las redes de transporte.

La evolución reciente de la industria eólica y sus expectativas futuras plantean retos tanto tecnológicos como industriales y tecnológicos. Alemania y España siguen siendo una referencia, puesto que a pesar de la disminución de la actividad de los últimos años, mantienen una industria, en parte, ligada al territorio, que se puede englobar con el concepto de "cluster". Pero la internacionalización y los incrementos de tamaño, con sus implicaciones logísticas, unido a los desarrollos "offshore", presentan retos que merecen una reflexión sobre la política energética, la industrial y la tecnológica.

Parece que no será suficiente con una política tecnológica y de I+D del actual modelo, debido a la reducción de ayudas económicas vía primas o desgravaciones fiscales. Los esfuerzos en I+D+i requieren, posiblemente, de nuevos modelos de coordinación y de integración dada la fuerte competencia, tanto en el ámbito europeo, como de los nuevos entrantes, como de los suministradores chinos. Finalmente, y no menos importante, el gran reto, probablemente, será definir una política industrial y tecnológica que, en los nuevos entornos económicos, de globalización y de competencia, permitan

mantener y desarrollar la ingeniería y la industria de nuestro país de forma sostenible.

Tras examinar los aspectos de la generación eólica, y tal como indicamos al comienzo, pasaremos a analizar los de la estructura energética.

4. ESTRUCTURA ENERGÉTICA Y SEGURIDAD DE SUMINISTRO

Para tratar el tema de la estructura energética y seguridad de suministro, me permitiré comenzar por algún lugar común, para ilustrar, por la vía de los usos, la relevancia que tiene el transporte. De ahí surgirá la importancia del petróleo, lo que dará lugar a algunas reflexiones sobre la seguridad de suministro energético. Con ello entendemos que se sitúa también mejor el examen de la economía y energía baja en CO_2, que es el objeto del último apartado.

Es un lugar común afirmar que la energía es un elemento consustancial de nuestra sociedad y que no podemos vivir sin ella. Es interesante tratar de repasar los usos que de ella hacemos. Podemos ilustrarlo con una medida del consumo diario por persona, expresado en kWh/día. Para ello, seguiré, en parte, el recorrido que lleva a cabo Mackay (2009). Podemos decir que en la satisfacción de nuestro confort, en calefacción e iluminación, empleamos 40 kWh/d. Si asumimos que somos un consumidor medio, en el uso de nuestro automóvil, utilizaríamos otros 40 kWh/d, en un viaje trasatlántico en avión unos 40 kWh/d y, en iluminación emplearíamos unos 4 kWh/d.

También empleamos energía, para producir alimentos, bienes industriales o servicios públicos. Al final, la energía queda embebida en los productos que adquirimos. De acuerdo con Mackay, en 2007, en España, se consumieron 105 kWh/d por persona mientras que en Reino Unido fueron unos 125 kWh/d.

Si actualizamos estos datos con fuentes del IDAE, para el año 2009, el consumo de energía final fue del orden de 93 Mtep (no considerando los usos de energías renovables en la energía final).

Tendremos ocasión de volver sobre estas cifras cuando tratemos la evolución de la energía y las intensidades de emisiones y de energía desde el año 1990. Si vamos aguas arriba y convertimos la energía final en la energía que encontramos en la naturaleza y que debemos transformar, es decir en energía primaria (y utilizamos para las renovables en la electricidad los coeficientes de la AIE), llegamos a una estructura de energía primaria, que no ha variado en las dos últimas décadas, salvo en lo que se refiere al incremento del peso de los hidrocarburos y de las energías fósiles (se pasa del 56% al 59% en hidrocarburos de 1990 a 2007, y de 77% al 83% en energías fósiles).

Esta situación histórica, no parece que vaya a cambiar sustancialmente esta década, ya que el crecimiento de las renovables, en un contexto de exceso de capacidad y escasa capacidad de almacenamiento de energía, necesitará energía de apoyo, que en la mayoría de los casos serán las centrales la generación de ciclo combinado. Esto plantea cuestiones sobre la adecuación de los recursos y la continuidad del suministro eléctrico. Las estimaciones actuales apuntan a que el peso de los hidrocarburos se situará en torno al 63% (IDAE, 2010).

Es sabido que en España, tienen un peso importante las importaciones de crudo y de gas natural. Hasta ahora las hemos agrupado como hidrocarburos pero dadas las diferencias que presentan en varios aspectos, varios de ellos relevantes, deberíamos tratar separadamente el petróleo del gas natural. Asimismo, dada la estrecha relación del petróleo y los productos petrolíferos con el transporte y la decisiva importancia del mismo en el mundo de la energía, me referiré en primer lugar, a algunos aspectos del transporte y, posteriormente, trataré un tema que creo de particular de interés, éste es, el de la dependencia energética.

Transporte

El transporte representó en España en el año 2009, el 37%, de la demanda de energía final. La estructura de consumo en el sector transporte en nuestro país, se reparte casi a partes iguales entre las mercancías y los pasajeros (47% vs. 53%), y supuso 34,9 Millones de

toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) en el año 2009. En el "mix" modal de pasajeros la utilización del coche pesa un 77,9% (en el año 2009), respecto a un 11,5% del autobús y un 6,1% del tren. Sin embargo, el consumo de energía específica en toneladas equivalentes de petróleo por pasajero, es distinto en función del modo de transporte, así un millón de pasajeros que viaje una distancia de 1 km en automóvil, consume 40,9 tep, mientras que esa cantidad es de 4,6 en autobús y 19,7 tep en tren (Fundación Repsol, 2011).

Respecto a "mix" modal de mercancías el camión supuso en términos de toneladas-km el 72,1% (en el año 2009) y el barco y el tren el 14,5% y 13,4% respectivamente. Los consumos unitarios en camión, tren y barco son de 68,9; 51,4 y 42,2 tep para transportar un millón de toneladas un kilometro (Mt-km) (Fundación Repsol, 2011).

Por tanto, un modo de mejorar la eficiencia energética es ir modificando las modalidades de transporte, hacia aquellas energéticamente más eficientes y mejorar la eficiencia de los vehículos, incorporando tecnologías o combustibles más eficaces.

En cuanto a eficiencia energética de las tecnologías de propulsión en términos de megajulios utilizados por 100 km recorridos, el menos eficiente es el de gasolina (240), le sigue el diesel (184), el hibrido (167), siendo el eléctrico el más eficiente con 90 MJ/100 km, aunque los modelos actuales de vehículos eléctricos se mueven en rangos más amplios.

Respecto a la eficiencia o el rendimiento de los motores de propulsión, la regulación a nivel global está experimentando considerables cambios. En los mercados de mayor tamaño: Estados Unidos, la Unión Europea, China y Japón, se requería a cada fabricante que cumpliese con niveles de consumo medio para su flota de vehículos En los nuevos enfoques, se especifica en términos de emisiones de gases de efecto invernadero o de rendimiento según el tamaño de los vehículos.

La Administración de Información de la Energía (EIA) de los Estados Unidos de América, espera que los fabricantes puedan avan-

zar en mejorar la eficiencia, ya que las reducciones potenciales son del 28-33% en los motores convencionales y, en torno al 54-55% para los vehículos que se enchufan y los vehículos ligeros (LDVs); siendo otro aspecto importante, la incorporación de los combustibles alternativos a los derivados del petróleo, que a nivel mundial supone el 96% del consumo.

Hemos dedicado un tiempo al transporte, ya que desde el punto de vista energético y de demanda futura, su importancia hoy se ve como decisiva. Así la Agencia Internacional de la Energía prevé que el aumento de demanda de petróleo provenga fundamentalmente de ese segmento de utilización.

El problema del transporte tiene una gran envergadura y complejidad. El crecimiento económico, la urbanización, tanto en mayor número de personas viviendo en ciudades, como en el mayor número de megalópolis, así como la tendencia hacia un mayor número de vehículos por persona, en particular, en países de bajo nivel de renta per cápita, lleva a que la disminución del consumo de productos petrolíferos, pase por un cambio de modelo.

Recientemente el Consejo Mundial de la Energía, ha publicado el informe "Escenarios Globales de Transporte 2050", donde considera dos escenarios modelizados por el Instituto Paul Scherrer[9]. Los dos escenarios difieren, entre otros aspectos, en la visión básica del papel de los mercados y del gobierno. En el escenario denominado de "peaje", hay una situación general mas regulada y en el transporte las soluciones se consensuan, regulan e implementan con una visión de largo plazo. En este escenario, hay un mayor énfasis en el transporte público, el tren de alta velocidad tiene mayor penetración a partir del año 2025, el número de coches por persona disminuye, al tener mayor importancia el transporte público, y continúan las mejoras de rendimiento en los motores de combustión interna y en los vehículos híbridos.

También tiene lugar una fuerte penetración del uso de la energía eléctrica para el transporte, ligado a una mayor penetración y a un desarrollo de la distribución eléctrica más automatizada. Ello facilita

la penetración del vehículo eléctrico y el uso, a gran escala, de electricidad en el transporte público. Asimismo, y en particular, en aquellos países que disponen de recursos de gas o cuentan con una buena infraestructura de su aprovisionamiento y transporte, se incrementa también el uso del gas natural en vehículos. La conjunción de todas estas hipótesis llevaría a un progresivo cambio del "mix" de tecnologías para los automóviles que con paso lento hasta el 2020-2025, aceleraría el cambio hasta el 2050.

Con las hipótesis, de ese escenario, se logra a nivel mundial una disminución de las emisiones de CO_2 de los automóviles a partir del año 2020-2025, ya que hasta entonces, éstas seguirán aumentando. En cualquier caso, las emisiones totales del transporte (incluyendo otros modos) se incrementan. Este panorama de penetración lenta, también requiere de políticas gubernamentales, claras, firmes y continuadas que se recogen en otros estudios.

El transporte como segmento de demanda final, presenta una relación básica con los productos petrolíferos y el petróleo. Esta relación no solo se da en España, puede decirse que tiene un carácter general y se da, también, en países muy relevantes por su influencia en el mundo global de la energía, como los Estados Unidos de América. Así el petróleo en ese país, supone la fuente del suministro para el sector transporte en un 94%, siendo el resto repartido a partes iguales, en torno al 3%, entre gas natural y energías renovables.

Además, desde la presidencia de Nixon (1969-1974), Estados Unidos ha declarado una política de búsqueda de la independencia energética, que ha generado una panoplia de instrumentos y actividades, así como un considerable número de análisis y debates. En nuestro país, con frecuencia, se incorpora como un elemento impulsor para la toma de decisiones, la disminución de la dependencia energética, al igual en que los Estados Unidos o en Europa. En este último caso, se incluyen las repercusiones de un creciente peso de las importaciones de gas natural. En los Estados Unidos, los conceptos de independencia energética, han servido en parte, para apoyar las subvenciones a los biocarburantes del maíz y, en nuestro caso, para apoyar a las energías renovables. El tema de la dependencia

energética, puede verse desde numerosos ámbitos. Si lo vemos solo desde el petróleo, se trataría de disminuir nuestras importaciones, por el riesgo asociado al suministro físico, pero también por el efecto, que los precios elevados del crudo tienen sobre nuestra balanza comercial.

Seguridad Energética

Si consideramos el tema de la necesidad de importar energías primarias sean petróleo o gas cabe preguntarse por la necesidad de examinar un concepto más amplio, que es el de la seguridad energética. Por ello, nos detendremos en el mismo y trataremos de encontrar algunas definiciones, así como algunos instrumentos que podamos utilizar con carácter general.

Podemos distinguir, siguiendo a Yerguin (2005) en una concepción amplia del concepto de seguridad energética, los elementos de disponibilidad, fiabilidad, asequibilidad ("affordability") y sostenibilidad. La disponibilidad supone contar con recursos propios en su territorio o con la capacidad y habilidad de productores y suministradores de acordar términos contractuales para el suministro y/o inversiones que las soporten. También es necesario contar con soluciones tecnológicas para la producción, el transporte, la transformación, el almacenamiento y la distribución, así como inversiones para llevar a cabo lo anterior y el adecuado marco legal y regulatorio.

En cuanto a la fiabilidad, es preciso contar con una cadena de valor diversificada, con la adecuada reserva de capacidad en dicha cadena, y con la protección, tanto a corto como a largo plazo, respecto a ataques terroristas, condiciones atmosféricas extremas y revueltas sociales o políticas. No menos importante es el papel que aquí juegan los mercados y la información sobre precios en los mismos.

La asequibilidad ("affordability") supondría que los precios tengan una baja volatilidad, que estos sean transparentes y que existan unas expectativas razonables sobre los precios futuros, así como una relación razonable entre precios y costes de la energía.

Finalmente, no podemos olvidar los aspectos de sostenibilidad en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero y mitigación de otros aspectos medioambientales a nivel local y regional. La inclusión de este elemento en el concepto de seguridad de suministro, puede resultar chocante, pero piénsese por ejemplo en los aspectos ambientales de desarrollar arenas bituminosas o biocombustibles del maíz, que presentan ventajas de producción de energía en suelo propio, pero con impactos ambientales que pueden ser más adversos que las importaciones.

A este respecto, cabe una consideración adicional. El carbón, en ocasiones, es denostado pero presenta aspectos positivos como la posibilidad de un suministro autóctono o la existencia de un mercado internacional maduro. No se apuesta por él, fundamentalmente, en gran parte de los países OCDE, salvo Estados Unidos y Australia. Sin embargo, durante la última década, a nivel mundial, contribuyó a la mitad de la demanda total de energía. Tal y como recoge la AIE (2011), su futuro dependerá de la asimilación de plantas de energía eficientes y de las tecnologías de Captura y Almacenamiento del CO_2 (CAC).

Hechas estas consideraciones, cabe preguntarse qué principios podemos apuntar para la seguridad de suministro. Sigue siendo válido el principio expresado por Winston Churchill de la diversificación "Safety and certainty in oil lie in variety and variety alone". Por tanto, la amplitud y variedad de fuentes de suministro, resulta vital. En nuestro caso, se ha progresado mucho en este campo, tanto en el petróleo como en el gas natural, donde en los últimos años se han incrementado muy significativamente las fuentes y orígenes de suministro.

Un segundo elemento básico pasa por reconocer la ventaja de mercados internacionales, en el petróleo y en el gas, que permiten contar con suministros aun con precios elevados.

El tercero, lo constituiría la necesidad de contar con un margen de suministro, es decir, tener la disponibilidad de suministros extras o adicionales para sustituir a los suministros que se interrumpan. En

el caso del petróleo, desde el año 1973, con la posterior creación de la AIE[10] y la existencia de reservas estratégicas para 90 días, se cuenta con los mecanismo "físicos" e instituciones. En el caso del gas natural, nuestros almacenamientos subterráneos y en tanques, han experimentado desarrollos notables, que ya hemos tratado anteriormente.

La necesidad de importar energía, seguirá siendo un hecho durante muchos años, por ello, deberíamos incluir otro principio, el de las relaciones de cooperación basadas en intereses comunes, entre los países que exportan e importan energía. El reconocimiento de la mutua interdependencia, el establecimiento de los denominados "diálogos" productores-consumidores y, sobre todo, la implementación de organismos políticos o medidas, bien a nivel internacional o bien desde las Administraciones Nacionales, en sus relaciones de política exterior, deben tener en cuenta la energía y apoyar las necesidades estratégicas de la misma. Este es un elemento, que conviene reforzar, ya que, además, puede permitir interrelaciones de políticas energéticas y políticas industriales.

Un elemento muy importante, en sí mismo, y que refuerza el aspecto anterior es la necesidad de contar con empresas energéticas e industriales, con base y estrategia industrial y energética de suficiente tamaño y capacidad para desarrollar, implementar y mejorar las tecnologías energéticas, ya sean éstas de exploración, producción de refino de petróleo; de producción, licuefacción, regasificación, almacenamiento, transporte, distribución de gas natural; generación de electricidad o de su transporte y distribución y/o en las relativas a la mejora de la eficiencia energética, etc. La tecnología no se desarrolla bien si no hay medios, conocimientos, recursos económicos y organizaciones y todo ello, puede aflorar mejor si se cuenta con empresas energéticas e industriales adecuadas y con una política industrial y tecnológica bien diseñada.

El mercado interior de la energía, es muy distinto, si lo vemos desde la óptica del petróleo, del gas natural o de la electricidad. Para nuestro país, el mayor reto quizás está, en el ámbito del gas natural y geoestratégicamente deberíamos de concentrar nuestra atención, en el Norte de África, Oriente Medio y África Occidental. Apoyados

por una política de estado, nuestro país, debería reconocer la inevitable interdependencia y tratar de implementar una política industrial como un "quid pro quo". No se ha de considerar necesariamente nuestro déficit comercial, en el rubro de la energía, como un demonio del que hay que huir, sino como una realidad cuyas causas y efectos hay que mitigar y con la que hemos de convivir.

Finalmente la I+D+i; una investigación, desarrollo e innovación tecnológica en el ámbito energético, debe de tener un amplio alcance y visión de largo plazo. Hoy no podemos aventurar con certeza las tecnologías del futuro, pero sí sabemos qué tecnologías son las que vamos a tener operativas en un plazo de diez, quince o veinte años. Este elemento de seguridad de suministro es clave para el largo plazo y por tanto, requiere organización, presupuestos, instituciones y gobernanza, adecuados al mismo. En nuestro caso, no creo que podamos afirmar tajantemente, que contamos con factores que aseguren el éxito futuro.

En la I+D+i sabemos que, el mero aumento de inversiones no garantiza el éxito en la creación de empresas competitivas y sostenibles. Sánchez Asiaín (2005) ha reflexionado sobre este asunto siguiendo, en gran medida, el modelo del sistema de innovación de COTEC y llega a la conclusión de que, junto con las medidas fiscales y financieras, son precisas medidas estructurales. Indica también la necesidad de mejorar la capacidad de transformar el potencial científico y tecnológico, en innovaciones rentables.

En este campo de la I+D+i y la ingeniería, no debemos de olvidar la importancia que tendría para nuestro país, dedicar de forma planificada e inteligente y con visión de futuro, recursos a la exploración de petróleo, de gas no convencional o de almacenamiento de CO_2 en nuestro territorio. El énfasis en las renovables, puede hacer que no prestemos la atención debida a este tipo de desarrollo que, como la experiencia ha mostrado, en el ámbito de los desarrollos de ingeniería y tecnología, en el refino de petróleo, en el campo nuclear o el gas natural, permiten desarrollar nuestra ingeniería y nuestra industria.

Quizás sea oportuno incorporar aquí algunos ejemplos de transferencia de tecnología, e ingeniería para lo cual, me referiré brevemente

a dos casos que creo que han supuesto notables desarrollos en la industria e ingeniería nacionales. El primero, es el relativo a las inversiones en plantas de refino. Ello llevó a acuerdos de empresas españolas con el fin de poder desarrollar procesos básicos y de ahí, al desarrollo de otros tipos de ingeniería cada vez con mayores alcances.

El segundo, ha sido puesto de manifiesto, entre otros, por García Rodríguez (n.d), respecto al campo nuclear. El conocimiento, desarrollo de ingenieros e ingenierías, con el que se ha logrado una gran experiencia en el campo energético, no hubiera sido posible sin esa interrelación entre la energía y la ingeniería, que hoy nos permite estar en el ámbito internacional. El Excmo. Académico Sr. D. Antonio Colino, que ha dedicado gran parte de su actividad profesional a la energía nuclear, campo en el que es reconocido internacionalmente, y el actual presidente de la Plataforma Tecnológica de Energía Nuclear de Fisión (CEIDEN), que ha puesto de manifiesto las capacidades, en ingeniería e industria (CEIDEN, 2011).

El caso de EE.UU, puede ser de interés. Desde que en 1977, el Presidente Carter creara el "Department of Energy" (DOE), éste se ha convertido en la principal fuente de fondos para la investigación, desarrollo y demostración en temas energéticos, alcanzando el 97% de los gastos federales, en ese capítulo, en el año 2007. Cabe señalar que si bien, en los primeros años de funcionamiento de dicho departamento, los fondos concedidos eran muy superiores a los actuales[11], siempre se ha mantenido un elevado volumen de inversión, con un mínimo de en torno a los 2.000 millones de dólares. Desde los inicios del nuevo siglo, se observa una nueva y ligera tendencia al alza en las dotaciones de fondos, llegando casi a alcanzar los 3.000 millones en 2009 (Díaz Anadon et. al. 2009).

Por otra parte, el desarrollo tecnológico del gas no convencional, parece que no puede entenderse plenamente si no se tiene en cuenta la creación de la "Energy Research and Development Administration" (ERDA), agencia anterior a la creación del Departamento de Energía, que se estableció en 1976 (adviértase que es hace 35 años). Además, también ha sido importante la creación, a través de la "Fe-

deral Energy Regulatory Commission" (FERC), del "Gas Research Institute", financiado mediante un recargo sobre el volumen de gas transportado en los gasoductos entre Estados. Otro ejemplo de interés es el desarrollo de turbinas de gas que se atribuye a la conjunción de cuatro factores, las mejoras tecnológicas incrementales, resultado de los esfuerzos en I+D+i de la industria energética y de la defensa; la disponibilidad de gas natural; las preocupaciones medioambientales y la restructuración del sector eléctrico (MIT, 2011).

5. SOBRE UNA ECONOMÍA BAJA EN CO_2

La lucha contra el cambio climático, es uno de los elementos básicos que configuran el escenario energético actual. En los últimos años, políticos, administraciones y empresas han puesto en marcha medidas (políticas e instrumentos) orientadas a disminuir las emisiones de CO_2.

En la actualidad, la situación económica y el desempleo, ponen de manifiesto que la población se interesa y preocupa, principalmente, por la estabilidad financiera, el empleo y el crecimiento económico, frente a la preocupación medioambiental. A estos efectos, los resultados obtenidos tras las cumbres de Copenhague, Cancún y Durban, no se corresponden con los que los grupos más ambiciosos pretendían.

De todos modos, a pesar de la situación económica y social, la orientación y el camino que ha tomado el mundo energético, se dirige hacia una energía o al menos hacia una electricidad con menos emisiones de CO_{2e}[12].

Economía y energía

Frecuentemente se habla de una economía baja en carbono. En otros casos las referencias son hacia una energía baja en CO_2. Más habitualmente, el interés se concentra en el sector eléctrico y en las energías renovables, como sector y como tecnologías para un "mix" energético (en realidad eléctrico) bajo en CO_2.

¿Qué queremos decir por una economía baja en carbono? Sin intentar responder aquí de una forma completa, estamos refiriéndonos a que las actividades económicas y los productos y servicios finales, deben tener menos contenido en carbono o deben de producir una menor emisión de CO_{2e}. La cuestión reviste una notable complejidad ya que, si pensamos sólo en productos y servicios, deberíamos preguntarnos si consideramos únicamente el CO_{2e}, que de forma visible emite la producción, la utilización de los productos o el uso de los servicios; o si deberíamos incluir las emisiones producidas a lo largo del ciclo de vida.

Naturalmente, estas consideraciones ponen de relieve la amplitud del asunto. Por ello, centraré el examen de esta cuestión en dos planos distintos, que con todo, creo que ya dan pie a reflexiones que me parecen pertinentes.

La evolución económica de un país va de la mano del nivel de actividad de los sectores que la forman. De esta manera, una época de bonanza va acompañada de un gran dinamismo de todos los sectores o, al menos, de los más relevantes para la nación. Por su parte, una situación como la actual implica una ralentización, generalizada, de los diferentes ámbitos de la economía.

Si consideramos la economía de un Estado, debemos identificar los parámetros que dan cuenta de la misma. Ya sabemos que el Producto Interior Bruto (PIB) no mide todo lo que quisiéramos, pero es un indicador ineludible. Desde luego, nos da idea del valor de los bienes y servicios finales que pasan por los mercados, en un determinado período de tiempo. Por otra parte, su descomposición nos ofrece una primera idea de la estructura económica del país, como veremos más adelante.

Desde 1992, y más concretamente desde 1997, con el Protocolo de Kyoto, Naciones Unidas viene recordándonos, que necesitamos promover lo que se conoce como desarrollo sostenible, que consiste en lograr un equilibrio entre nuestra actividad y el impacto que la misma tiene sobre el medioambiente, en especial, en lo referente a las emisiones de gases de efecto invernadero. Para

ello, se hace referencia a la necesidad, entre otras, de promover la eficiencia energética de los diferentes sectores que conforman las economías, como mecanismo para lograr una reducción de las emisiones[13].

En el mundo de la energía es conocida la identidad de Kaya, que tiene el gran mérito el de combinar los factores del PIB con otros relativos al uso de la energía en la economía y las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero GEI. Cabe señalar que los parámetros tienen sus limitaciones a la hora de poder extraer conclusiones de detalle, sin embargo, nos permiten obtener observaciones o hallazgos de carácter más macro o global.

La identidad de Yoichi Kaya considera las emisiones de CO_{2e}, descompuestas en cuatro factores básicos. El primero es la intensidad GEI por energía utilizada, que de forma simplificada representaremos por CO_{2e}/E, utilizando para las unidades, millones de toneladas de CO_{2e} y para el denominador millones de toneladas equivalentes de petróleo ($MtCO_{2e}$/Mtep). Este factor está relacionado con el "mix" de energía.

El segundo factor, es el de la intensidad energética de la actividad económica. Para ello, el factor que se utiliza habitualmente es el cociente entre la energía y el valor de los productos y servicios finales producidos en la economía en un determinado periodo de tiempo, lo que se corresponde con el Producto Interior Bruto (PIB), que podemos considerar como una medida del nivel de eficiencia energética en la obtención de productos, bienes y servicios. Este segundo coeficiente se identifica por E/PIB y se puede expresar en millones de tep por miles de millones de euros (Mtep/miles de millones de euros). Veremos luego que para que la lectura del factor tenga un sentido más asimilable, utilizaremos también como unidad de medida tep/M€.

El tercer componente, lo constituye el PIB Per Cápita, es decir, el PIB por habitante, calculado como PIB/Hab y que se medirá en k€/Hab. Finalmente, el cuarto factor, será el número de habitantes de la economía considerada, expresado en millones. Por lo tanto, la formulación de la identidad es la que sigue.

$$CO_{2e} = \frac{CO_{2e}}{E} \times \frac{E}{PIB} \times \frac{PIB}{Hab} \times Hab$$

En ocasiones, se incluye un quinto componente, el cociente entre energía final y energía primaria, con el fin de pasar de los consumos finales de energía al consumo de energía primaria. En ese caso, la expresión de la fórmula de la identidad de Kaya, donde EP es la Energía Primaria y EF la Energía, ambas expresadas en Mtep, sería[14]:

$$CO_{2e} = \frac{CO_{2e}}{EP} \times \frac{EP}{EF} \times \frac{EF}{PIB} \times \frac{PIB}{Hab} \times Hab$$

Con el fin de evaluar los efectos y los esfuerzos a realizar, es interesante examinar las tasas de variación históricas. Para ello, siguiendo a Deutch (2011) y partiendo de la forma más sencilla de la identidad de Kaya, obtendríamos lo siguiente, utilizando la notación que emplea el citado autor para las tasas de variación de cada factor:

$$\frac{\delta CO_{2e}}{CO_{2e}} = \frac{\delta(CO_{2e}/E)}{CO_{2e}/E} + \frac{\delta E/PIB}{E/PIB} + \frac{\delta(PIB/Hab)}{PIB/Hab} + \frac{\delta(Hab)}{Hab}$$

Veamos a continuación, en la siguiente tabla, cuál es resultado de aplicar la identidad de Kaya a los datos de la economía y de la energía en España, para los años 1990, 2000 y 2009, es decir, para un período de casi veinte años.

TABLA 1. Datos de la identidad de Kaya para España

	1999	2000	2009
Emisiones CO_{2e} (Mtoneladas)	283	380	368
Consumo de energía primaria[3] (Mtep)	88	122	126
Consumo de energía final (Mtep)	61	87	93
Población española (M)	40	40	47
PIB en miles de millones de euros constantes del año 2000	477	630	774
Intensidad de Emisiones CO_{2e}(Mtoneladas)/EP (Mtep)	3,22	3,12	2,92
EP/EF	1,45	1,40	1,35
Intensidad Energética EF (Mtep)/PIB (miles de M€)	0,13	0,14	0,12
PIB Per Cápita PIB (k€/Hab.)	11,96	15,56	16,55

(sigue)

Intensidad Energética EF (tep)/PIB (M€)	127,14	137,67	119,91
Objetivo de emisiones 2020 (Mtoneladas)[1]	370	370	370
Objetivo de emisiones 2020 (Mtoneladas)[2]	386	386	386

NOTA 1: El dato referente al objetivo de emisiones de 2020 se ha calculado en base a los objetivos de reducción de emisiones. Por un lado de los sectores acogidos al régimen de Comercio de emisiones de la UE (suponiendo que se produce una reducción de las emisiones del 21% para cada país) y, por otro lado, en base al objetivo para España de reducción de las emisiones en los sectores difusos de un 10%.

NOTA 2: Otro dato que se podría emplear como objetivo de emisiones es el de 386 Mtoneladas, que supone la reducción de un 20% de las emisiones respecto al nivel de 1990.

NOTA 3: Los datos relativos a consumos de energía final, no incluyen las energías renovables.

FUENTE: Larrea Basterra, M. (2012). A partir de Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, Secretaría General Técnica (2010), SEE (2008), SEE (2010), INE (2012a), INE (2012b), AIE (2011) e IDAE (2011).

En base a los datos anteriores, se obtiene la siguiente tabla, en la que se recogen las tasas compuestas de variación de los tres períodos de tiempo considerados en el estudio, 1990-2000, 2000-2009 y 1990-2009.

TABLA 2. Tasas de crecimiento anual compuesto

	Intensidad Emisiones	EP/EF	Intensidad Energética	PIB per capita	Evolución población	Emisiones CO_2	PIB
1990-2000	-0,31%	-0,33%	0,80%	2,67%	0,15%	2,97%	2,82%
2000-2009	-0,71%	-0,39%	-1,52%	0,69%	1,61%	-0,36%	2,30%
1990-2009	-0,50%	-0,36%	-0,31%	1,72%	0,84%	1,38%	2,58%

FUENTE: Larrea Basterra, M. (2012). A partir de Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, Secretaría General Técnica (2010), SEE (2008), SEE (2010), INE (2012a), INE (2012b), AIE (2011) e IDAE (2011)

En base a los resultados anteriores podemos obtener algunas conclusiones. Se puede observar que los datos referentes a la intensidad energética y de emisiones de la economía española han mejorado mucho en los últimos años. Cabe preguntarse si es posible mantener a futuro ese ritmo de mejora. Suponer el mantenimiento de forma sistemática, y a largo plazo, de esas tasas de mejora de la intensidad energética y de emisiones no parece que sea muy realista, ya

que, conforme se van introduciendo mejoras en la eficiencia, se van agotando las medidas cuyo logro es más fácil, o que han sido apoyadas por fuertes incentivos. Por tanto, se llega a un punto en el que se hace difícil seguir consiguiendo tasas elevadas si no es a través de grandes inversiones o cambios radicales en la estructura económica y/o energética del país.

Por otro lado, las mejoras comentadas, en materia de intensidad de emisiones y de energía, no han ido acompañadas siempre de reducción en las emisiones de CO_{2e}. Las emisiones de GEI, último "resultado" de la identidad de Kaya, han aumentado en las dos últimas décadas, aun cuando se observa una reducción en la década 2000-2009, en gran medida, a partir de 2008.

Observando los datos, se puede pensar que el aumento del crecimiento económico va acompañado de un aumento de las emisiones. El nivel de emisiones podría explicarse por el crecimiento económico que se ha producido en estas dos últimas décadas (2,58% anual). A estos efectos, podemos señalar que se ha pasado de un PIB per cápita de apenas 12.000€, en 1990, a unos 16.500€, en 2009, con un aumento de la población del 0,84% anual durante 20 años.

Esta observación se corrobora, cuando se examina lo sucedido tras la crisis del año 2007, ya que, observando los datos, se puede decir que la disminución en el PIB, se traslada rápidamente y con disminuciones acusadas, a los consumos de energía (final y primaria).

¿Podemos aventurar algunos posibles resultados para el futuro, basándonos en los datos históricos, y utilizando la identidad del Kaya?. Si suponemos que las mejoras en intensidad de emisiones y en intensidad energética, del año 2009 al 2020; son iguales a las tasas anuales del periodo 1990-2009, es decir, 0,50% y 0,31% respectivamente, y que el PIB per cápita, crece también en las misma tasa anual a 1,72%, equivalente a un crecimiento del PIB de 2,58%, y de la población de 0,84%; ¿qué resultados se conseguirían?

En ese caso, nos situamos en intensidad de emisiones y de eficiencia energética en el año 2020, de 2,77 t/tep y de 115,92 tep/M€, y

unas emisiones totales de 427 $MtCO_{2e.}$ (Larrea Basterra, 2012). Esta cifra supone un incremento en emisiones de CO_2 del 15%, bajo el supuesto mencionado de aumento de renta per cápita (PIB de 2,58% anual), y de población que pasaría de 45,5 a 51 millones de habitantes.

La sensibilidad a los parámetros de renta y población, es significativa; ya que con el mismo aumento de renta, pero con la población constante, las emisiones se situarán en 389 $MtCO_{2e}$, con un aumento en emisiones del 5,21%; suponiendo en cualquier caso esfuerzos continuados y sistemáticos en intensidad de emisiones e intensidad energética. Si estos esfuerzos tuviesen lugar, y la renta y población se estancasen, las emisiones caerían un 12%, e incluso un 4% con población constante y renta creciente. Por otra parte, si no se hiciesen esfuerzos en la mejora de emisiones, y de intensidad energética, las emisiones, incluso con una población constante, superarían las cantidades anteriores, incluso con crecimientos anuales del PIB del orden del 1.5 %.

Como referencia, conviene indicar aquí los datos de intensidad energética del área OCDE (en la que nos encontramos) y de Japón (país que se puede considerar eficiente en lo que a intensidad energética se refiere) para los años 2007 y las estimaciones a 2020 y 2030, que en términos de tep/millón de dólares son 139, 116 y 101 para la OCDE y 141, 124 y 121 para Japón, en los años anteriormente citados.

Para tratar de completar el análisis, en la siguiente tabla se recogen los datos referentes a las emisiones de CO_{2e}, por sectores. Se observa cómo la energía, es responsable de la mayor parte de las emisiones, llegando en el año 2005 a representar el 79,05% del total de las mismas. A su vez, se pone de manifiesto el crecimiento de las emisiones en los sectores servicios, residencial y transporte, que en su conjunto han aumentado sus emisiones un 66% en casi dos décadas, pasando de tener una cuota del 25,7% de las emisiones de GEI totales al 32,8%, es decir un aumento de 7 puntos.

Por su parte, el sector eléctrico y la producción de calor han ido disminuyendo desde el año 2000 las emisiones generadas, hasta el punto

de disminuir el peso de las mismas respecto del total un 4%, aproximadamente, en 20 años.

Los datos proporcionados en la tabla 3 muestran que dentro del sector energético, las actividades sujetas al régimen de comercio de emisiones, que afecta al sector eléctrico e industrias como la del cemento, vidrio, cerámica, producción de acero y pasta de papel, entre otros, han reducido en mayor cuantía sus emisiones de GEI. Sin embargo, las actividades energéticas de los denominados sectores difusos, han visto aumentar sus emisiones de manera importante.

TABLA 3. Emisiones de GEI por sectores (Mtoneladas)[1]

	1999	2000	2009
Energía	210	287	283
Electricidad y producción de calor	65	90	76
Industrias manufactureras y construcción	47	59	59
Transporte	55	84	94
Residencial y servicios	18	25	26
Resto	26	29	28
Otros	73	93	84
Total de emisiones (M)	283	380	368

[1] Emisiones expresadas en CO_{2e} para los sectores del IPCC.

FUENTE: EEA (2012)

Este asunto no es fácil analizarlo en profundidad y plantea, la necesidad de trabajar en mayores análisis y estudios para acertar en la política energética, que realmente nos dirija a una economía baja en CO_2. Para ello y como ya habíamos señalado, conviene desglosar el PIB, por sectores de la economía, por lo que dado que habitualmente el consumo de energía final se desglosa en diferentes segmentos, interesa examinar al menos una desagregación básica. En la tabla que sigue, podemos aproximarnos a la estructura del PIB nacional.

TABLA 4. Evolución de la estructura sectorial del PIB (%)

	1990	2005	2010
Industria manufacturera	18	16,58	13,7
Ramas energéticas	3,3	2,72	2,69
Construcción	9,2	9,55	8,43
Servicios	65,3	67,84	71,7
Agricultura	4,2	3,31	3,48

FUENTE: IDAE (2011).

En el periodo 1990-2010, el sector de servicios incrementó, en torno a un 6% su cuota del PIB, pasando del 65,3% al 71,7%, mientras que la industria ha visto como su peso en el PIB se reducía.

Hay que destacar la importancia que tiene en la economía el sector servicios. Del porcentaje del PIB que proviene del sector servicios, una parte importante procede del subsector transporte y servicios de comunicación. De acuerdo con datos del EUROSTAT (2011), en el año 2009, la aportación al PIB de la rama de actividad de transporte y servicios de comunicación ascendió a cerca de un 25%, dato que muestra la relevancia de este sector.

Conviene ahora ver el peso que en el conjunto de la energía final tienen los diferentes sectores. No es fácil identificar el mismo desglose de la tabla anterior. Sin embargo, en la siguiente tabla se puede observar que la industria y el transporte son los grandes consumidores de energía. Además, cerca de un tercio del conjunto (27%) se utiliza en el sector residencial en su conjunto ha aumentado su peso porcentual en casi un 4% en los últimos 20 años.

TABLA 5. Evolución de la estructura sectorial de la demanda de energía final (%)

	1990	2005	2010
Servicios	23,2	26,7	26,9
Agricultura	3,8	3,7	3,7
Industria	34,5	31	30,2
Transporte	38,5	38,5	39,3

FUENTE: IDAE (2011).

Estos últimos sectores parecen de menor entidad pero si nos aproximamos a los consumos energéticos totales, examinando para ello los consumos directos e indirectos, tal y como lleva a cabo Mendiluce et al. (2010), resultan observaciones de interés ya que con ese enfoque, los sectores terciario y transporte serían los mayores consumidores de energía.

Cabe preguntarse sobre la eficiencia energética de los diferentes segmentos consumidores de energía final. Los datos relativos a la intensidad energética y de emisiones por segmentos consumidores, revela la dificultad de lograr reducciones significativas. Así por ejemplo, en el segmento industrial, durante el período 2000-2009, la intensidad energética empeoró ligeramente, debido al mayor consumo del sector químico, que alcanzó las 556 tep/M$€_{2000}$. Por su parte, en la calefacción en el sector residencial, la intensidad energética fue en 2009 de 0,39 tep corregida/hogar, en servicios fue de 17,9 tep/M$€_{2000}$ y en el transporte por carretera de 64,9 tep/Mt-km (Fundación Repsol, 2011).

Por lo que se refiere a la intensidad de emisiones, los datos de 2008 revelan valores expresados en tCO_{2e}/tep de 3,3 para el transporte, 3,4 para la industria, 3,6 para el sector residencial y 4,1 en el sector servicios (Fundación Repsol, 2010). Esto significa que si queremos ir hacia una economía baja en CO_2, los sectores residencial y servicios, deben tener un enfoque especial dada su intensidad de emisiones, superior a los sectores sobre los que habitualmente se incide.

Algunas Reflexiones Finales

¿Es posible romper el nudo gordiano de la ecuación Kaya? Una de las reflexiones que surge del examen anterior, es por un lado la dificultad de compaginar el crecimiento económico, con la disminución de emisiones. Ya hemos visto como el crecimiento tiene que ser compensado con esfuerzos adicionales en intensidad energética e intensidad de emisiones. Conviene recordar, que es difícil mantener en el tiempo tasas de mejora semejantes a las de la pasada década, es decir, cuando ya se han introducido una serie de medidas, llega un momento en el que las mejorías se estancan o encuentran fuertes dificultades para que las tasas de mejora mantenga el ritmo.

Ello nos lleva al tema del cambio estructural. Hay elementos en la estructura económica y energética, que no podemos modificar a corto plazo. Las mejoras en el diseño, aislamiento y eficiencia energética en los edificios, requieren la renovación o la espera a un nuevo ciclo de construcción de edificios (viviendas y oficinas), cuya vida ronda los 40-50 años. Por su parte, los cambios modales en el transporte son, a buen seguro, convenientes pero requieren el medio o el largo plazo. De este modo, sabemos que la incorporación de mejoras en rendimientos o la de biocombustibles, que pueden disminuir las emisiones en un 3-5%, lleva años.

En lo que a eficiencia energética se refiere, durante bastante tiempo, hemos pensando que era como la bondad, que promoviéndola mediante la educación daría, por sí sola, sus frutos. Hoy sabemos, que requiere políticas, normativas, inversiones, financiación y mercados. No va a llegar solo por apagar la luz o dejar el coche en casa.

Estamos, también, aprendiendo mucho en otros campos. No debemos considerar la política energética de manera aislada, ni reducida al ámbito nacional. Es necesario, que la acompañen diseños económicos adecuados y una política industrial, con visión internacional, que deje beneficios en la ingeniería y en la industria.

En este sentido no debemos de perder de vista el contexto global de internacionalización y la imposición de ritmos, que en situaciones de crisis conviene acompasar. En el caso de Europa, conviene situarnos en perspectiva. La proyección para el año 2035, realizada por la AIE, apunta a que China será el mayor emisor de CO_2 relacionado con el sector energético, alcanzando el 24% de las emisiones totales. Por su parte, EEUU e India contribuirán cada uno con el 11% de las emisiones globales y Europa supondrá el 8% de las mismas (AIE, 2010).

Es por ello importante diferenciar plazos y objetivos teniendo en cuenta, que a corto plazo deberemos de resolver problemas para poder trabajar en las fases siguientes. Para llegar al año 2020, debemos de salvar y pasar los ejercicios económicos logrando una economía saneada cada año. También debemos identificar la senda que queremos recorrer, situar el peso relativo de los esfuerzos y su con-

texto. Si pretendemos una energía baja en CO_2, deberíamos mirar el "mix" energético, y trabajar en el ámbito de la eficiencia energética y del transporte, teniendo en cuenta que los ritmos y plazos han de considerar las realidades estructurales y económicas.

En el "mix" eléctrico, el énfasis se pone en el crecimiento de renovables, pero no debemos olvidar que un "mix" equilibrado, en el que estén todas las fuentes energéticas, es un bien en sí mismo. Por tanto, debe incluir a la nuclear y a las energías fósiles, dada la necesidad de éstas para soportar a las energías intermitentes y dar seguridad al sistema. El carbón, que se bate en retirada tiene el reto del almacenamiento del CO_2 y, mirando a medio y largo plazo, no deberíamos de dejar de trabajar en esta materia.

Ya hemos visto, cómo la tecnología puede ayudar a mejorar los costes, pero también cómo se presentan nuevos retos, que no son solo tecnológicos, también son económicos. La estimación de costes de cumplimiento de los objetivos comunitarios en energías renovables, para España, ascendieron en 2010 a cerca de 7.000 millones de euros y se estima que con el actual sistema de primas puedan alcanzar los 11.000 millones en 2020 (Karcsonyi, Pérez, 2011). A nivel europeo, según ECOFYS (2011), en 2009, las ayudas ascendieron a 16.000 millones de euros. Esto implica precios finales para las energías más elevados, lo que supone un coste para competitividad de nuestras empresas.

No debemos olvidar que desde el año 2004, el coste de energía en España, está creciendo más que los costes laborales (Arocena, Díaz Mendoza, 2012). Esta realidad pone de manifiesto la necesidad de acometer solo las energías más competitivas, acompasar el paso y resolver, a corto plazo, los problemas del déficit tarifario y buscar soluciones que no encarezcan el coste de la energía.

A medio plazo, debemos de pensar, que la financiación de una economía baja en carbono, ha de ser incentivada mediante mecanismos económicamente más eficientes. Los costes actuales obligan a una reflexión necesaria. Es necesario trabajar con plazos para acometer los diferentes temas, según su urgencia e importancia. En mi opinión, deberían llevarse a cabo estudios de mayor amplitud y abrir

el debate sobre cómo financiar una economía baja en CO_2. Ya hemos visto que la energía está en la economía y en los usos finales. Este enfoque debería de llevarnos a formas de financiación que superen la actual situación que pivota solo, en los sectores transformadores. Esta puede ser la gran innovación que necesitamos si, realmente, queremos disminuir la intensidad energética y de emisiones a medio y largo plazo en nuestra economía.

Para decidir mejor nuestra política energética, es necesario mirar la energía como conjunto de sectores energéticos y es preciso examinar las políticas industriales y tecnológicas. De este modo, podremos acometer mejor una política para el sector energético, que sea equilibrada.

¿Es posible imaginar, que recorramos el camino hacia la economía más baja en CO_2, en beneficio de nuestra ingeniera e industria, creando empleo cualificado y sostenible y respetando la lógica económica y la buena administración y gobernanza de los asuntos?

Creo que de nuevo, debemos volver a la economía. No parece factible soportar el crecimiento de nuestro tejido industrial y de nuestras empresas, en un mercado que se estrecha y cuya demanda de energía tardará años en "absorber" la capacidad disponible. La internacionalización es una necesidad, con una mirada constante en el largo plazo y con el foco en potenciar aquellos sectores empresariales que tenemos.

Creo que la situación no es halagüeña. Quizás hoy más que nunca, la acertada identificación de los problemas, el rigor en los análisis y el esfuerzo continuado, nos permitirán contribuir como ingenieros a la solución de los problemas.

Agradecimientos

Debo ir finalizando. En mis años en la Escuela de Minas, echaba de menos una cierta formación sobre temas humanistas. Luego, leyendo a Adam Smith, me di cuenta de la importancia de los sentimientos morales. Con el atrevimiento de utilizar estas palabras sin rigor académico, es más que apropiado, que emplee algunas palabras de este

largo discurso para agradecer, muy sinceramente, el apoyo de muchas personas, en lo profesional y en el ámbito familiar.

Son numerosos los profesionales e ingenieros de los que he aprendido, tanto de mis jefes, como de mis colegas y de mis colaboradores. Su mención individualizada aquí, sería una larga lista, pero si repaso las diferentes etapas laborales debo mencionar, además de los ya citados anteriormente, a mis compañeros Jorge Corrales e Isaac Álvarez. A José Antonio Suarez Estrada, con quien me inicié en el campo nuclear y gasista y con quien recorrí los primeros y decisivos años ingenieriles de desarrollo profesional, trabajando siempre en un entorno tan profesional como afectuoso. A mis colegas durante muchos años en Unión Fenosa, como Juan Luis Cardenete o Jose Luis Zapata, en los que encontré conocimiento, profesionalidad, y una gran capacidad de gestión, y ya, más recientemente, en la Cátedra de Energía a Emiliano López Atxurra, y Jose Luis Curbelo, que me han posibilitado la investigación aplicada en temas energéticos, desde el entorno de la Universidad.

También quiero mencionar a los académicos de esta Real Academia, que por estar más relacionados con el mundo de la energía, han sido para mí fuente de conocimiento y de buenos consejos. Me refiero a los Excelentísimos Académicos Sres. D. Adriano García-Loygorri, D. Ignacio Pérez Arriaga, D. César Dopazo y D. José Ramón Irisarri.

En el ámbito familiar, a mis hijos, Nacho y Ana, de los que me siento muy orgulloso y a los que les he robado muchas horas de atención, por una mayor dedicación al trabajo y al estudio; a mis padres; de los que aprendí la importancia del trabajo y de la preparación, a mi hermana Luisa María, que es un apoyo cariñoso y eficaz, y a Mercedes Álvarez, que me procura ese "bien estar", al que se refería Ortega y Gasset.

Termino ya. Quiero reiterar mi agradecimiento a esta Real Academia, por el honor que me concede y espero que desde el esfuerzo y el trabajo de ingeniero, pueda contribuir eficazmente a los fines de la misma.

Muchas gracias.

6. REFERENCIAS

Agencia Internacional de la Energía (AIE). (2009a). *Technology Roadmap. Wind energy.* www.iea.org.

Agencia Internacional de la Energía (AIE). (2009b). *Transport, energy and CO_2. Moving toward sustainability.* Disponible en http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2009/transport2009.pdf

Agencia Internacional de la Energía (AIE). (2010). *World Energy Outlook, 2001* París.

Agencia Internacional de la Energía (AIE). (2011). *World Energy Outlook, 2011.* París.

Alcántara, V., Padilla, E. (2010). *Determinantes del crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero en España (1990-2007).* Revista Galega de Economía, vol. 19, núm. 1.

Álvarez Fernández, I. (2011). *Informe interno.*

Álvarez Pelegry, E. (2011). *Energías Térmicas. Panorámica General.* XXIII Curso Superior de Negocio Energético. Club Español de la Energía, ENERCLUB.

Álvarez Pelegry, E., Balbás Peláez, J. (2003). *El gas natural. Del yacimiento al consumidor.* CIE Dossat 2000.

Andrews, A.; Folger, P.; Humprhries, M.; Copeland, C.; Tiemann, M.; Meltz, R.; Brougher, C. (2010). Unconventional Gas Shales: Development, Technology, and Policy Issues. En K.M. Nash (Ed.), Shale Gas Development (pp. 105-149), New York, Nova Science Publishers, Inc.

Aracil Santonja, J. (2012). *En busca de la utilidad. La larga marcha del "homo faber".* Discurso del acto de la sesión inaugural del año académico. 24 de enero de 2012. Real Academia de Ingeniería.

Arendt, H. (1996). *La Condición Humana.* Paidos Estado y Sociedad.

Arocena, P.; Díaz Mendoza, A.C. (2012). *Los costes de la energía de las empresas industriales, Internal working paper.* Cátedra de Energía. Instituto Vasco de Competitividad.

Arthur, W.B. (2009). *The nature of technology. What it is and how it evolves.* The Free Press and Penguin Books.

Caro Baroja, J. (1983). *Tecnología Popular Española.* Editorial Nacional.

CEIDEN. (2011). *Capacidades españolas para afrontar un nuevo proyecto nuclear.*

Central Intelligence Agency (CIA). (2011). *The World Factbook.* Disponible en https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/, fecha de acceso 28/02/2012.

Corporación de reservas estratégicas de productos petrolíferos (CORES). (2011). *Boletín estadístico de hidrocarburos,* nº 169, diciembre de 2011. Disponible en http://www.cores.es/ pdf/behActual/behActual.pdf

Creus Solé, A. (2008). *Aerogeneradores.* Editorial Técnica.

Deutch, J.M. (2011). *The crisis in energy policy.* Harvard University Press.

Diaz Anadon, A., Holdren, J.P. (2009). *Policy for Energy Technology Innovation.* En K.S. Gallagar (Ed.), Acting in Time on Energy Policy". The Brookings Institution Press.

Díaz Fernández J.L. (2011). *Panorámica general de petróleo.* Clase en el curso "Energía y Competitividad. Gas, Redes y Renovables". Cátedra de Energía. Instituto Vasco de Competitividad. 4 de noviembre de 2011.

ECOFYS. (2011). *Financing Renewable Energy in the European Energy Market, (Final report submitted to the European Commission, DG Energy).* Disponible en http://ec.europa.eu/energy/renewables/studies/doc/renewables/2011_financing_renewable.pdf

Emerging Energy Research (IHS). (2011). *Wind turbine Supply Chain Strategies 2011-2025. Market Study.* www.emerging-energy.com.

Enagas. (2011). *Avance Informe anual 2011.* Disponible en http://www.enagas.es/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1146254503099&ssbinary=true

European Environment Agency (EEA). (2012). *EEA greenhouse gas - data viewer.* Disponible en http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer, fecha de acceso 21 de febrero de 2012.

European Union (EU).(2008). *Questions and Aswers on the Commission´s proposal for effort sharing*. MEMO/08/34. 23 January 2008.

European Wind Energy Association (EWEA). (2010). *European Wind Power Statistics.*

European Wind Energy Association (EWEA). (2012). *Global Wind Statistics 2011.*Disponible en http://www.gwec.net/fileadmin/images/News/Press/ GWEC_-_Global_Wind_Statistics_2011.pdf .

EUROSTAT. (2011). *Europe in figures. Eurostat yearbook 2011.*

Florman. S.C. (1996). *The Existential Pleasures of Engineering*. St. Martin Press.

Fundación para la Innovación Tecnológica (COTEC). (2005). *Comunicar la Innovación. De la empresa a los medios*.

Fundación para la Innovación Tecnológica (COTEC). (2007). *Las Relaciones en el Sistema Español de Innovación*.

Fundación para la Innovación Tecnológica (COTEC). (2011a). *Análisis de la Evolución de los Paquetes Científicos Españoles*.

Fundación para la Innovación Tecnológica (COTEC). (2011b). *Análisis Empresarial del Programa CENIT*.

Fundación Repsol. (2010). *Eficiencia energética e intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero en España y la UE-15 Estudio técnico.*

Fundación Repsol. (2011). *Eficiencia energética e intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero en España y la UE-15 Estudio técnico.*

García Rodríguez, A. (n.d). *Engineering technology transfer: Experience with the Spanish nuclear program.* Third International conference on nuclear technology transfer. ICONTT III.

Headrick D.R (2011). *El Poder y el Imperio. La Tecnología y el Imperialismo de 1400 a la Actualidad*. Ed. Critica.

Herrmann, L.; Dunphy, E.; Copus, J. (2010). *Oil and gas for beginners. A guide to the oil & gas industry. Global Markets Research*, Deutsche Bank, London.

Instituto Nacional de Estadística (INE). (2012a). *Poblaciones de derecho desde 1986 hasta 1995. Cifras de las rectificaciones y renovaciones padronales*, Disponible en http://www.ine.es/ jaxiBD/tabla.do, fecha de acceso 14/02/2012.

Instituto Nacional de Estadística (INE). (2012b). *Series de población desde 1996*, Disponible en http://www.ine.es/jaxiBD/tabla.do, fecha de acceso 14/02/2012.

Instituto Nacional de Estadística (INE). (2012c). *Proyecciones de población a largo plazo. 2009-2049*, Resultados nacionales, Disponible en http://www.ine.es/jaxi/tabla.do, fecha de acceso 14/02/2012.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2010). *Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España, PANER, 2011-2020.* Disponible en http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_20100630_PANER_Espana_version_final_(1)_cdb842de.pdf

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2011). *Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020.* Disponible en http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_11227_PER_2011-2020_def_93c624ab.pdf

Karcsonyi, J.; Pérez, Y. (2011). *Un análisis de los precios de la electricidad. Implicaciones del desarrollo de las energías renovables.* Cátedra de Energía. Orkestra-Instituto Vasco de Competitividad.

Kiameh, P. (2012). *Power generation Hanbook. Fundamentals of Low-Emission, High Efficiency Power Plant Operation*. The Mc Graw-Hill Companies; Inc.

Larrea Basterra, M. (2012). *La ecuación de Kaya, desarrollo de posibles escenarios a futuro. Internal working paper.* Cátedra de Energía. Orkestra-Instituto Vasco de Competitividad.

Luna, E. (2012). *Borrador del documento Situación actual y visión de futuro de la industria del petróleo.* Preparado por el Club Español de la Energía y que sera publicado en los próximos meses.

Mackay, J.C. (2009). *Sustainable energy-Without the hot air. UIT Cambridge, England. www.withoutair.com*

Martin, F.W., Harrje, E.M. (2005). *The International Energy Agency.* en Kalicki, J.H. y Goldwyn, D.L. (Eds.) Energy Security. Towards a new foreign policy strategy (pp. 97-116).

Martínez Díaz, I. (2011). *Licuefacción y transporte marítimo de GNL.* Curso de Energía y Competitividad: Gas, Redes y Renovables. Cátedra de Energía. Orkestra-Instituto Vasco de Competitividad.

Massachussets Institute of Technology (MIT) (2011). *The Future of Natural Gas. An Interdisciplinary MIT Study*.

Mendiluce, M., Linares, P. (2010). *Análisis de la evolución de la intensidad energética en España*. Economics for Energy. Disponible en http://www.eforenergy.org/docpublicaciones/informes/Informe_ejecutivo_2010.pdf

Merino, P.A. (2011). *Formación de Precios*. Curso de Energía y Competitividad: Gas, Redes y Renovables. Cátedra de Energía. Orkestra-Instituto Vasco de Competitividad.

Mikkelsen, T.; Hansen, K.; Angelou, N.; Sjöholm, M.; Harris, M.; Hadley, P.; Scullion, R.; Ellis, G. (2009). *Lidar wind speed measurements from a rotating spinner.* Disponible en www.risoe.dk/.../wind...wind...wind.../2009_83.

Ministère de l´Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement (MEDDTL).(2010). *Le stockage de gaz natural en France et en Europe.* Disponible en www.developpement-durable.gouv.fr/Le-stockage-de-gaz-naturel-en.html

Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, Secretaría General Técnica. (2010). *Anuario de estadística 2010*.

Mitcham, C. (1994). "Thinking Through Technology. The Path Between Engineering and Philosophy". The University of Chicago Press.

Nieto, R.M. (2011). *Almacenamientos Subterráneos de Gas*, Curso de Energía y Competitividad: Gas, Redes y Renovables. Cátedra de Energía. Orkestra-Instituto Vasco de Competitividad.

Nivola, P.S., Carter, E.E.R. (2009). Making sense of "energy independence". En C. Pascual, J. Elkind, Energy security: economics, politics, strategies, and implications, Brookings Institution.

Organización de Naciones Unidas (ONU). (1998). *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Disponible en http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf

Ortega y Gasset, J. (1939). Ensimismamiento y alteración en Obras Completas, Tomo V.

Pascual, C., Elkind, J. (2010). *Energy Security. Call for a Broad Agenda.* En J. Elkind, Energy Security. Economocs, Politics, Strategies and Implications. The Brookings Institution Press.

Pendás, F. (2012). *Gas No Convencional en España. Consideraciones Generales. El Ejemplo EE.UU. Posibilidades en España.* Jornada de "Shale Gas". Cátedra de Energía-Orkestra-Instituto Vasco de Competitividad.

Petrobras. (2009). *A new frontier. Questions and Answers.* Disponible en http://www.petrobras.com.br/minisite/presal/en/a-new-frontier/, fecha de acceso 29/02/2012.

Ramberg, D.J., Parsons, J.E. (2010). *The weak tie between natural gas and oil prices,* Center for Energy and Environmental Policy Research, MIT Energy Initiative. Disponible en http://web.mit.edu/ceepr/www/publications/workingpapers/2010-017.pdf

Raymond, M.S.; Leffler, W.L. (2006). *Oil Gas Production in Nontechnical Language.* PennWell. USA.

Sánchez Asiaín, J.A. (2005). *La Tecnología y la Innovación Como Soporte Del Desarrollo*, Fundación para la Innovación Tecnológica (COTEC).

Secretaría de Estado de Energía (SEE). (2008). *Libro de la energía en España 2008*, Disponible en http://www.minetur.gob.es/energia/balances/Balances/Paginas/Balances.aspx

Secretaría de Estado de Energía (SEE). (2010). *Libro de la energía en España 2010*, Disponible en http://www.minetur.gob.es/energia/balances/Balances/Paginas/Balances.aspx

Secretariat Danish Wind Industry Association (MEGAVIND). (2007). *Denmarks future as leading centre of competence within the field of wind power.* Disponible en http://www.windpower.org/download/100/denmarks_future_as.pdf

Sluyterman, K. (2007). *Keeping Competitive in Turbulent Markets 1973-2007, Volumen 3,* in *A History of Royal Dutch Shell.* Oxford University Press.

Soria Lascorz, E. (2008). *Energía eólica.* Energía, las tecnologías del futuro. Estudios del Club Español de la Energía.

Tatjer, M. (2011). *La construcción de los espacios industriales: el caso de Barcelona* en Silva Suárez, M. (Ed.). Técnica e Ingeniería en España VI. El ochocientos, de los lenguajes al

patrimonio. Real Academia de Ingeniería, Institución Fernando el Católico. Prensas Universitarias de Zaragoza.

World Energy Council (WEC). (2011). *Global Transport Scenarios 2050*. United Kingdom. "Used by permission of the World Energy Council, London, www.worldenergy.org".

Yerguin, D. (2005). *Energy security and markets,* en Kalicki, J.H. y Goldwyn, D.L. (Eds.) Energy Security. Towards a new foreign policy strategy (pp. 51-64).

Yunta, R. (2011). *Regulación Básica del Sistema Gasista*. Curso de Energía y Competitividad: Gas, Redes y Renovables. Orkestra-Instituto Vasco de Competitividad.

NOTAS

[1] "Tékne".

[2] "Tecnología".

[3] Para una descripción de la fábrica y el papel de los ingenieros puede verse Tatjer M. (2011).

[4] Citado por Mitcham (1994), Pág. 72.

[5] Definición de 1828 citada en de *"The Civilized Engineer"* de1987, nombrada en Florman (1996).

[6] Air Products and Chemicals. Inc.

[7] En 2011, China instaló 18.000 MW y EEUU 6.810MW. Juntos representaron el 61% de la potencia total instalada de energía eólica en el mundo (EWEA, 2012).

[8] Lidar: Light Detection and Ranging or Laser Imaging Detection and Ranging.

[9] World Energy Council (2011).

[10] La Agencia Internacional de la Energía fue creada el 18 de noviembre de 1974, con el acuerdo "Agreement on an International Energy Program", (Martin y Harrje, 2005).

[11] En el año 1978, se concedieron 7.300 millones de dólares en ayudas a la investigación en temas energéticos.

[12] El CO_{2e}, mide la concentración de *dióxido de carbono* que podría causar el mismo grado de forzamiento radiactivo que una mezcla determinada de dióxido de carbon*o* y otros *gases de efecto invernadero*. A estos efectos, consideramos los GEI recogidos en el Protocolo de Kyoto y que son, a saber, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre. En Durban se ha añadido otro gas, el trifluoruro de nitrógeno. La equivalencia al CO_2, se realiza según el "Global Warming Potential" (GWP) de cada gas, siendo la referencia el CO_2.

[13] ONU (1998).

[14] Medidas en CO_2 equivalente (CO_{2e}).

[15] Alcántara, V.; Padilla, E. (2010).

CONTESTACIÓN

EXCMO. SR. D. JOSÉ LUIS DÍAZ FERNÁNDEZ

Excelentísimo señor Presidente,
señoras y señores académicos,
amigos.

Es para mí un honor y un privilegio dar la bienvenida en nombre de la Real Academia de Ingeniería a Eloy Álvarez Pelegry y ello por varias razones:

En primer lugar, me congratula recibir en la RAI a un ilustre Ingeniero de Minas. La Minería, la Geología, la Energía, la Metalurgia deben tener cabida en esta Academia como actividades esenciales para el desarrollo de la Humanidad. Los Ingenieros de Minas que éramos Académicos Numerarios, hemos pasado a la condición de Súpernumerarios, con lo que la Academia no tenía representantes de esta Ingeniería de tanta relevancia. Más aún, el hecho de que nuestros Estatutos no impusieran una representación mínima de todas las ingenierías, unido al predominio actual de algunas especialidades, implicaba el riesgo de la desaparición de otras. Por ello me congratula recibir a un Ingeniero de minas con un brillante historial en el campo de la industria, la energía, la economía y la docencia.

Eloy Álvarez Pelegry es Ingeniero de Minas por la Escuela de Oviedo, especialidad Metalurgia, promoción de 1975. Tengo un afecto especial hacia esta Escuela de la que fui Catedrático en el Curso 1965-1966. Tuve excelentes alumnos, algunos de los cuales tuvieron una brillante trayectoria profesional ocupando puestos relevantes tales como Presidente HUNOSA o de Altos Hornos del Mediterráneo o Director de Planificación y Estudios de Campsa, cuando yo era Presidente de esta empresa.

En 1982 se diplomó en la prestigiosa London School of Economics, en 1988 obtuvo la Licenciatura de Ciencias Económicas y

Empresariales de la UCM y en 1996 el Doctorado en Ingeniería de Minas en la Escuela de Madrid.

Su actividad empresarial ha sido igualmente notable. Entre 1976 y 1978 fue Ingeniero Responsable de la Sección de Sistemas y Procesos del Departamento nuclear de Electra del Viesgo, entre 1978 y 1981 Ingeniero de Proyectos de redes de gas de ENAGAS y entre 1989 y 2009 ocupó puestos varios en Unión Fenosa primero y en Unión Fenosa Gas después; el último, Director General de Calidad, Medio Ambiente e I+D+i.

Desde noviembre de 2010 es Director de la Cátedra de Energía del Instituto Vasco de Competitividad de la Fundación Deusto.

Como docente ha sido profesor asociado de Análisis Económico en la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de la UCM y del Departamento de Sistemas Energéticos de la ETS de Ingenieros de Minas de Madrid.

Es autor de varios libros sobre el sector energético, entre ellos "Economía Industrial del Sector Eléctrico: Estructura y Regulación" y "El Gas Natural: del Yacimiento al Consumidor" y ha publicado cerca de 200 artículos en revistas españolas y extranjeras.

He tenido la oportunidad de participar con Eloy Álvarez en varias Mesas Redondas y puedo dar fe de la claridad y la calidad de sus presentaciones, tal y como nos ha confirmado en su exposición.

Paso a referirme brevemente al discurso de ingreso del nuevo Académico, que inició con unas reflexiones sobre la ingeniería, la tecnología y la energía, profundizando en algunas energías fósiles, especialmente el petróleo y el gas natural y en algunas renovables como la eólica.

Incidió en un aspecto importante como es nuestra dependencia exterior en el abastecimiento energético y el peso importante de nuestras importaciones de petróleo. Permítanme que añada una reflexión personal: si en medio de una crisis económica generalizada, el pre-

cio del petróleo Brent supera los 120$/bl, puede predecirse que a finales de la presente década, si hay una recuperación económica, podamos estar inmersos en una tercera crisis del petróleo con precios muy elevados. Y no por falta de reservas recuperables, que como ha evidenciado Eloy Alvarez, han aumentado continuamente debido a la impresionante evolución tecnológica tanto en las Geociencias como en las Técnicas de perforación y producción de hidrocarburos. El problema está en la fuerte concentración de estas reservas en unos pocos países que podrían no realizar las inversiones necesarias para que la producción alcance la demanda prevista.

No eludió en el discurso uno de los temas que enmarcan y dirigen el mundo energético actual: la búsqueda de una energía baja en emisiones de CO_2. El análisis de la evolución en los últimos 20 años de la intensidad de las emisiones de gases de efecto invernadero por unidad energética, del consumo de energía por unidad de PIB y del PIB per cápita le ha permitido realizar extrapolaciones interesantes sobre el futuro energético.

Finalmente, centró su discurso en la necesidad de solventar los serios problemas que tiene el sector eléctrico donde debe volver a imponerse la lógica económica a la que tanto podemos contribuir los ingenieros. El desarrollo de las llamadas energías en Régimen Especial, con su elevadísimo extracoste, ponen en peligro todo el sistema.

Como conclusión, para terminar, permítanme que pronostique que la incorporación de Eloy Álvarez a nuestra Academia supone un enriquecimiento para esta institución a la que puede aportar su valiosa experiencia.

Eloy: en nombre de la Academia y en el mío propio te doy la bienvenida y me congratulo de que, a partir de ahora, estés entre nosotros.

GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE EDUCACIÓN, CULTURA
Y DEPORTE