

# Lección Inaugural “La importancia de la energía en las revoluciones industriales”

*Emilio Mínguez, catedrático de la Universidad Politécnica de Madrid*

Apertura del Curso Académico 2015/16  
17 de septiembre de 2015

Buenos días:

En primer lugar, agradezco al rector y a su equipo el haberme concedido el honor de impartir la lección de apertura de este curso que hoy inauguramos de forma oficial.

Cuando acepté la invitación del rector para impartir esta lección no dude en elegir este tema La importancia de la energía en las revoluciones industriales, por el tiempo que en mi carrera docente e investigadora he dedicado a los temas energéticos.

## **Justificación e hipótesis de partida**

La energía y el desarrollo industrial tienen una gran riqueza histórica basada en la ciencia, la ingeniería y la sociología, que nos permite analizar cómo se ha producido ese desarrollo, del que podemos sacar enseñanzas valiosas.

La lección comienza con una hipótesis muy simple pero no por ello menos relevante. ¿Qué hubiera ocurrido con los desarrollos industriales desde el siglo XVIII de no haberse producido avances en la generación, transformación y distribución de energía?

Esta lección es una primera introducción al estudio de las revoluciones científicas y tecnológicas, que aporta enseñanzas y es una buena experiencia para los alumnos de ingeniería, para no cometer errores futuros, si se dispone de conocimientos basados en un método científico que soporte los nuevos desarrollos.

Desde el siglo XVII, por no remontarnos a épocas anteriores, la ciencia, la técnica y la tecnología han sido y son elementos importantes en la sociedad. Entendemos por paradigma industrial el resultado de integrar los avances científicos y tecnológicos con nuevos modelos económicos, organizativos, y con los diferentes comportamientos sociales. Según esta interpretación, desde el siglo XVIII el paradigma industrial ha sufrido varias transformaciones en su modelo, debido a los avances científicos, y a las múltiples innovaciones, que han provocado cambios importantes en la sociedad. Por supuesto, la historia nos enseña que no siempre estos avances han sido usados para beneficio de todos.

La tesis que desarrolla la lección consiste en analizar cómo han influido los recursos naturales, y su transformación en las diversas formas de energía, en el desarrollo industrial, y también cómo ha sido el proceso inverso, es decir ¿las máquinas desarrolladas han hecho más efectiva o eficiente la producción de energía?

El planteamiento es global, ya que referirse a España y a su evolución científica y técnica en el sector industrial necesitaría de varias lecciones aparte. Para un mayor y mejor conocimiento de la evolución industrial en España les invito a que consulten la magnífica obra de nuestro compañero y amigo, el Prof. J M<sup>a</sup> Martínez-Val sobre *“Un empeño industrial que cambió España 1850-2000”*.

### **Definiciones y terminología**

Los avances científicos han producido importantes consecuencias en la praxis humana, manifestándose en forma de aplicaciones técnicas y tecnológicas. Se entiende por técnicas al conjunto de conocimientos, procedimientos y destrezas necesarios para conseguir un fin; mientras que las tecnológicas son el conjunto de saberes, teorías y técnicas que permiten el aprovechamiento práctico de un saber científico. A veces ambas se confunden ya que sus conceptos se han ido aproximando.

Algunos autores consideran que ciertas teorías o descubrimientos científicos son meros procesos del desarrollo de las ciencias. He podido comprobar que algunos solo dan importancia a la revolución científica del siglo XVII y menos importancia a las del siglo XX. A modo de ejemplo, consideran que tanto la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica no se pueden considerar revoluciones científicas. Existe también una cierta polémica sobre si la computación es o no una ciencia. Al margen de esta polémica, lo que sí está claro es que todo el entorno relacionado con la información, el software, y las computadoras son elementos clave para el desarrollo de la ciencia actual y del futuro.

El método científico explica de forma teórica o empírica un fenómeno, y se establece una teoría que se explica mediante un formulismo matemático. A partir de estos desarrollos científicos, y a veces en paralelo, se diseñan inventos que funcionan de acuerdo con la teoría, que al cabo de unos años dan lugar a una tecnología aplicable, con la que se elaboran masivamente productos en las fábricas. Las revoluciones industriales se producen cuando el empleo de los productos generados ocasiona un cambio en la sociedad y en la economía. Así, en el siglo XVIII se pasó de la industria artesanal a las fábricas, y en el siglo XX se mejoraron los productos mediante innovación y su rentabilidad económica.

### **Periodos que abarcan dichas revoluciones**

Decir cuando comienza una revolución y cuando termina y empieza otra es discutible, pero hay una cierta coincidencia entre los historiadores, aunque no unánime. La

primera revolución se inicia en el siglo XVIII y llega hasta mediados del XIX. La segunda se inicia en el último tercio del XIX y llega hasta la segunda guerra mundial. La tercera se inicia una vez acabada la segunda guerra mundial y llega hasta el momento actual. Sigue vigente, ha tenido varias etapas, y actualmente hay un nuevo cambio que puede dar lugar a una nueva etapa, o a una nueva revolución industrial como se viene anunciando en los últimos años.

### **Revoluciones científicas que dan lugar a las revoluciones industriales**

En el siglo XVII tiene lugar la gran Revolución Científica, que da origen a la Primera Revolución Industrial. No se pueden olvidar los desarrollos anteriores. En aquel tiempo la economía de la sociedad se basaba en el trabajo manual, era puramente artesanal con técnicas rudimentarias, realizada en pequeños talleres o gremios, y con una sociedad rural en la que predominaba la explotación agrícola y la fuerza animal. Este siglo es conocido por el del genio, pero también de la guerra, ya que con la excepción de unos 7-8 años de paz el resto fueron guerras como la de los 30 años. A pesar de esa sociedad inglesa rudimentaria, sin embargo sobresalían personajes de la talla de Shakespeare entre otros.

La ciencia moderna aprendió los métodos de la investigación que se realizaba en varios países de Europa durante la revolución científica, que a su vez evolucionó de la que siglos anteriores se había realizado en Europa, en los países árabes durante la Edad Media, y en la precoz ciencia griega.

Las críticas a la revolución científica adquieren dos formas opuestas: los que piensan que los descubrimientos de los siglos XVI y XVII no fueron más que una evolución del progreso científico, y los que piensan lo contrario. Sea como fuese, hay que reconocer que se pasó progresivamente de un sistema artesanal heredado de los antiguos a sistemas basados en hechos probados científicamente y que consiguieron de forma global cambiar la forma de hacer y producir.

Thomas Kuhn, en su libro *“Estructura de las revoluciones científicas”*, cita: Después de una revolución científica, muchas de las mediciones anteriores o pierden importancia o son sustituidas por otras. La ciencia nueva incluye muchas de las manipulaciones antiguas que se realizan con los mismos instrumentos y se describen con los mismos términos que empleaban sus predecesores.

En este periodo, me van a permitir citar a algunos personajes ilustres como Francis Bacon, educado en el *Trinity College de Cambridge*, quien hacia 1616 fue la primera persona que expuso un programa global para la ciencia y la tecnología y, que a pesar de no ser ni científico ni matemático, expresó una visión empírica de la ciencia.

Galileo, uno de los grandes matemático de ese siglo, y músico bien dotado, realizó una gran contribución al desarrollo de la mecánica y la ciencia de las maquinas, estableciendo los conceptos de trabajo, fuerza y energía. Definió una máquina como un aparato que permite aplicar mejor las fuerzas de la naturaleza: viento, agua o fuerza animal. Para él, las matemáticas eran el alfabeto con el que Dios ha hecho el mundo, y aunque se le atribuyen inventos como el termómetro, el péndulo y el telescopio astronómico, sin embargo sus aportaciones fueron muchas más. Gran parte de sus conocimientos fueron expuestos en su obra *Novum Organum (Nuevo instrumento o Auténticas directrices para la interpretación de la naturaleza)*. No debemos olvidarnos que la única forma de generar energía en esa época era mediante el viento, el agua, carbón, madera y la fuerza animal.

Descartes, matemático brillante y defensor del racionalismo, presentó un cuadro del mundo que puede todavía considerarse el de la ciencia física moderna. Abogó por la materia y el movimiento.

Y, desde luego, el científico por excelencia de ese siglo, Isaac Newton, considerado uno de los grandes científicos que han existido, excelente matemático y físico experimental, publicó en 1686 sus "*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*", y puso en marcha la gran revolución científica, siendo el primero en emplear la Tecnología en el sentido moderno, entendiendo por tal como la aplicación sistemática del conocimiento científico para la realización de un fin práctico. Además, creó el caldo de cultivo en el que nació la Revolución Industrial.

## **Las revoluciones industriales y los cambios en el paradigma social**

La **primera revolución industrial** fue una gran transformación a distintos niveles: tecnológico, económico y social, que se produjo en gran parte del siglo XVIII, localizado primero en Inglaterra y después en Estados Unidos y en Europa, se extendió al siglo siguiente, y se alimentó de los descubrimientos de la gran revolución científica del siglo XVII.

El invento de las máquinas y la mecanización de los procesos transformaron profundamente los sistemas productivos, naciendo la sociedad industrial como un nuevo paradigma que se expandió rápidamente por el mundo occidental.

La innovación dio lugar a un progreso tecnológico y con él a la creación de numerosos productos que han tenido su utilidad en sectores como el agronómico, el textil, el transporte y el energético.

Los primeros sectores que se ven afectados por estos cambios son: la minería, la agricultura la industria del hierro y la textil. La minería necesitaba energía no animal para ciertos procesos, como la eliminación del agua de las inundaciones, y para la molienda del mineral. La agricultura empleaba la energía de fuerzas animales para mover el arado, y necesitaba sustituirla por otra que diera un mayor rendimiento.

Se necesitaba pasar del hierro colado al hierro forjado para su empleo en construcción. Una muestra fue la Tour Eiffel. La industria textil necesitaba emplear maquinas en las que la fuerza humana se viera multiplicada.

También se desarrollaron las comunicaciones terrestres y marítimas. El primero que se desarrolló debido a estos avances fue el ferrocarril, con lo que se mejoró la movilidad y la comunicación, no solo para acercar las poblaciones, sino también para mejorar las relaciones comerciales.

A finales del siglo XVII se produjo en Inglaterra la aparición del sistema de patentes, lo que produjo un cambio de actitud, ya que antes no se conocían las cosas por miedo a su copia. Con el sistema de patentes se hizo más público cualquier descubrimiento, y como consecuencia se produjeron avalanchas de innovaciones al mismo. Esta gran transformación permitió el nacimiento de la industria como tal.

Fue Thomas Newcomen, de profesión quincallero, perteneciente a una familia baptista, quien construyó la primera máquina de "fuego y aire" en 1712, junto a su ayudante John Calley. Esta máquina funcionó en la mina de carbón de Coneygree. Consistía en una caldera por encima de la cual había un gran cilindro de latón con un pistón. El vapor de la caldera entraba en el cilindro y el pistón se elevaba. Cuando el pistón alcanzaba el extremo superior del cilindro se cortaba la entrada de vapor, se

condensaba gran parte del vapor y el exceso de presión impulsaba el pistón hacia abajo. Varios detalles tuvieron que corregirse antes de que esta máquina funcionara correctamente, los cuales no voy a describir. Según mis referencias, existe una maqueta en el Museo de la Ciencia y la Industria de Manchester.

Algunas máquinas de Newcomer se usaron en las minas de Schemnitz en Eslovaquia, empleando leña como combustible, lo que produjo una importante destrucción de los bosques. Esta máquina, a pesar de ser la pionera antes de que apareciera la máquina de vapor de Watt, despertó muy poco interés social al principio, si se compara con los primeros viajes en globo de finales de ese siglo, que tuvieron un mayor impacto mediático.

Con estas breves reseñas se ve claramente que la energía fue fundamental en el desarrollo industrial en este periodo de la primera revolución industrial. De no haberse dispuesto de energía, no se hubieran podido conseguir estos avances. Hacia 1850, el consumo de energía primaria mundial alcanzaba un valor de  $15 \cdot 10^6$  julios.

La verdadera revolución se inicia con la máquina del ingeniero escocés James Watt, en la que se hacen coincidir la energía térmica con los dispositivos mecánicos. Watt desarrolló esta máquina de vapor, tomando como referencia la máquina de Newcomer, y la patentó en 1769, comenzando la comercialización hacia 1770. A lo largo de los años siguientes, en la máquina original se introduce un condensador dando lugar a un ciclo completo o ciclo termodinámico.

Ésta se fue mejorando al incorporar el paralelogramo articulado y el regulador de bolas, cuyo símbolo aparece en el escudo de la Ingeniería Industrial, de la que existe una reproducción en la Sala de la Máquina de la ETSII, que invito a visitar a los que aun no han tenido la oportunidad de conocerla. Al sustituir esta máquina a la fuerza animal, Watt normalizó la unidad de medida “caballo de fuerza” como la capacidad de levantar 33.000 libras a diez pies de altura durante un minuto.

La simbiosis máquina de vapor-ferrocarril permitió que se mejorasen las comunicaciones. Este aspecto se pone de manifiesto en un artículo aparecido en *The Times* en 1825 en el que se destacaba la inauguración de la primera línea férrea entre Stockton y Darlington, mediante tracción de vapor, con la siguiente reseña: “Tres máquinas de vapor con cincuenta caballos de fuerza cada una han servido para arrastrar trece vagones, cargados de mercancías y productos diversos. Allí se han enganchado los vagones a una máquina llamada "La Experiencia" además de cierto número de vagones que llevaban a los accionistas, autoridades e invitados (...) Se pone en marcha y hombres a caballo intentan seguir los vagones pero pronto quedan distanciados. Allí donde la pendiente era más fuerte el convoy alcanzó las 25 millas/h. (40km/h)”.

Ya vemos que en la primera revolución industrial se emplean conceptos de energía y termodinámica para hacer que, al final, usando una caldera de vapor se pueda producir energía térmica y energía mecánica. Deducimos por tanto, que la energía fue determinante para este primer paso en la revolución industrial y en el desarrollo industrial de siglos posteriores. El combustible usado fue carbón y madera.

La **segunda revolución industrial** se extiende en un periodo comprendido entre el último tercio del siglo XIX y la segunda guerra mundial en el siglo XX. Desde el punto de vista científico podríamos decir que es la gran revolución científica que se produce por el electrón y las transformaciones de los núcleos de los átomos, por avances en las máquinas térmicas como consecuencia de nuevas innovaciones y en el uso de

otros combustibles como petróleo y gas. Esta segunda revolución se conoce fundamentalmente como la de la energía eléctrica.

La industria química la siderurgia, las comunicaciones y los desarrollos de máquinas más potentes, dieron lugar al desarrollo tecnológico necesario para impulsar el transporte terrestre y aéreo.

La oferta y la demanda de energía aumentaron, debido al perfeccionamiento de técnicas ya conocidas como la máquina de Watt, la turbina o la industria del gas, y por otro lado gracias a las nuevas formas de energía, como la electricidad y el petróleo, con grandes ventajas en su utilización frente a la madera y carbón.

Se produce la sustitución del hierro por el acero en la industria, el reemplazo parcial del vapor por la electricidad y los derivados del petróleo como fuente de energía. La introducción de la maquinaria automática para dirigir y poner en funcionamiento a otras máquinas, hacen que en su globalidad se produzcan cambios radicales en los transportes y las comunicaciones. Las invenciones y sus aplicaciones tuvieron más difusión y descentralización en esta Segunda Revolución que en la primera.

En el siglo XVIII, la electricidad pasa a ser considerada una atracción científica, apareciendo numerosos descubrimientos que permiten su avance. En el empeño de generar electricidad, aparecen los trabajos de Luigi Galvani y los de Alessandro Volta de la Universidad de Pavia, estableciendo los fundamentos de la pila voltaica. Los del alemán Georg Ohm, con su conocida ley fundamental en circuitos; el danés Christian Oersted, sobre los campos magnéticos generados en las corrientes eléctricas; el británico Faraday, que demuestra que un campo magnético en movimiento puede generar una corriente eléctrica.

En el progreso eléctrico además de Faraday, aparece James Prescott Joule protagonista de que la energía se situara en el centro de la física. Joule era hijo de un cervecero y su situación económica le permitió dedicar su tiempo libre a la investigación. Fue un entusiasmado convencido de la energía eléctrica, a raíz de la lectura del artículo de Jacobi en 1835, a sus diecisiete años. Recibió una buena formación de John Dalton y tenía una alta capacidad experimental. Se caracterizó por su intensa actividad en desarrollar el mejor motor eléctrico, aunque se decepcionó al ver que el rendimiento de su motor era más bajo que el de una máquina de vapor.

Una aplicación inmediata de las ideas de Joule fue la invención de la dinamo, que transformaba la energía mecánica en energía eléctrica. Maxwell construyó un modelo de campo electromagnético, capaz de explicar los fenómenos de inducción observados.

El primer motor eléctrico para el ferrocarril fue construido en 1879 por Wagner Von-Siemens, alcanzando una velocidad de 6,5 km/hora. Su desarrollo no fue muy amplio, ya que era necesario electrificar la línea. La aparición de la lámpara eléctrica por Swan en Inglaterra y Edison en Estados Unidos cambió el paradigma de la iluminación de las ciudades, pasando del gas a la electricidad. Aparece el telégrafo eléctrico, aparato construido por el norteamericano Samuel Morse en 1837. Posteriormente, aparece el telégrafo sin hilos por Guillermo Marconi, debido al descubrimiento de las ondas eléctricas en la atmósfera. El crecimiento de la industria de suministro eléctrico fue tan rápido que ya antes de finalizar el siglo XIX habían aparecido tres grandes empresas: Edison General Electric Company, la Thomson-Houston Company y la George Westinghouse Company, y en Europa, la Siemens-Halske.

En este periodo coincidieron grandes inventores como Westinghouse, von Siemens, Graham Bell, Nikola Tesla y Edison, cuya revolucionaria manera de entender la relación entre investigación y mercado capitalista convirtió la innovación tecnológica en una actividad industrial. Tesla, fue un inventor serbio, que descubrió el principio del campo magnético rotatorio en 1882, base de la maquinaria de corriente alterna.

También inventó el sistema de motores y generadores de corriente alterna polifásica que da energía a la sociedad moderna. El alumbrado artificial modificó la duración y distribución horaria de las actividades individuales y sociales, de los procesos industriales, del transporte y de las telecomunicaciones.

A modo de ejemplo, y para ilustrar esta lección, en 1902 la revista Energía Eléctrica recogió la Estadística de la Industria Eléctrica en España en 1901, elaborada por el entonces M<sup>o</sup> de Agricultura, Industria, Comercio y Obras Públicas. En 1901 existían en España 861 centrales eléctricas, que sumaban una potencia total de 78.425 kW. En estas centrales el 61% usaba energía térmica y el 39% era energía hidráulica. En 2014, la potencia eléctrica instalada fue de 108.000 MW.

Diesel revolucionó el mundo del motor, mediante el empleo de un nuevo combustible, que es el petróleo. En su libro *“Teoría y Construcción del motor térmico racional”* se refiere a una familia de ellos, que pueden emplear diferentes combustibles: gas, carbón, u otro combustible sólido. Diesel murió al caer por la borda de un ferry de vapor.

Ya en esa época se hablaba de las fuentes de energía difusas (renovables como ahora las conocemos): viento, mareas, olas o calor solar. Esta energía difusa se estimaba equivalente a muchos filones de carbón, aunque requerirían instalaciones amplias. La pregunta que se hacía era si serían rentables económicamente y aceptables desde el punto de vista medioambiental, ya que requerirían amplias instalaciones.

El comienzo del siglo XX fue también testigo de dos notables avances en física. Nos referimos a la teoría cuántica enunciada por Max Planck, y a la teoría de la relatividad especial publicada por Einstein en 1905. La primera permitía conocer la energía en el espectro de calor radiado desde un cuerpo caliente negro. La fórmula descubierta por Planck de acuerdo con los experimentos se basaba en su teoría de los cuantos, según la cual la energía radiante puede emitirse o absorberse solo en unidades discretas, determinadas por el producto de la frecuencia y una constante conocida como la constante de Planck o el cuanto de energía. Estas dos teorías supusieron un cambio en el paradigma newtoniano, ya que se sustituyó por la teoría maxwelliana del campo, en un caso, y por los conceptos de espacio, tiempo y conservación de la masa en el caso de la teoría de la relatividad especial de Einstein.

Esta revolución estaba precedida por el descubrimiento de los rayos X en 1895 por Roentgen y por el de la radiactividad en 1896, de Becquerel. Con este descubrimiento, se establecieron las bases para la nueva concepción del Universo, y sobre todo para la exploración de la materia a nivel atómico y subatómico. Es el comienzo de la revolución científica del siglo XX, del electrón y de los núcleos. No sería posible hablar de la ciencia de materiales sin mencionar la mecánica cuántica.

En 1919, Rutherford publicaba en el *Phylosophical Magazine* que si se bombardea Nitrógeno con partículas alfa, se producía Oxígeno e Hidrógeno. Era el sueño de los alquimistas de la Edad Media, realizado ahora mediante reacciones nucleares, en los que el tipo y la energía de la partícula producían un tipo u otro de transformación. Robert Chadwick, discípulo de Rutherford (1935) encontró una nueva partícula a la

que denominó neutrón, y que tendría la máxima importancia en el devenir histórico de la física nuclear.

Con el descubrimiento del neutrón por James Chadwick en 1932, se inicia una nueva actividad energética que conduce a la fisión nuclear, descubierta por Lisa Meitner y Otto Frisch, a raíz del artículo publicado por Hahn y Strassman en 1939, y al primer reactor, o pila de Fermi en 1942, en la Universidad de Chicago, en la que se consiguió la primera reacción en cadena.

Se construyeron también grandes máquinas eléctricas para acelerar partículas hasta velocidades equivalentes a las decenas y centenas de MeV. El primer dispositivo fue el generador electrostático de Cockcroft- Walton, en el laboratorio de Rutherford. Este aceleraba protones y los hacía incidir sobre litio, produciendo partículas alfa. El más conocido fue el ciclotrón de Ernest Lawrence en la Universidad de California, que era un acelerador circular, y que se bautizó con el nombre de “*atom-smasher*”, destrozador de átomos.

El desarrollo de la mecánica cuántica durante la primera mitad del siglo XX sentó las bases para la comprensión del comportamiento de los electrones y los núcleos en los diferentes materiales. Estos saberes, combinados con otras tecnologías, permitieron el desarrollo de la electrónica, que alcanzaría su auge con la invención del transistor. El perfeccionamiento, la miniaturización, el aumento de velocidad y la disminución de costo de las computadoras durante la segunda mitad del siglo XX fueron posibles gracias al buen conocimiento de las propiedades eléctricas de los materiales semiconductores. Esto fue esencial para la conformación de la sociedad de la información de la tercera revolución industrial, comparable en importancia con la generalización del uso de los automóviles.

Podemos concluir que en este periodo, una vez más, la energía tuvo una importancia fundamental. Es la revolución de la industria eléctrica y del motor de explosión, así como de la física atómica y nuclear, que tendría su mayor importancia en la tercera revolución industrial.

La **tercera revolución industrial** se conoce como la de las tecnologías de la información y del conocimiento. Comienza después de la Segunda Guerra Mundial y se extiende hasta nuestros días. La conjunción de las tecnologías de la información y comunicación, la implantación de Internet y las nuevas energías caracterizan esta Revolución Industrial.

Las fuentes de energía que en este periodo toman protagonismo son: renovables y energía nuclear, junto al ahorro y la eficiencia energética, además del continuo empleo de las energías fósiles. A comienzos del siglo actual, Estados Unidos lanzó un proyecto para producir hidrógeno, mediante el empleo de reactores nucleares avanzados, los cuales funcionando con gas helio, y alcanzando temperaturas superiores a 1200°C se podría, mediante cogeneración, producir hidrogeno de forma masiva a partir de ácido sulfúrico, lo que permitiría un avance en el vector energético del hidrógeno.

Después de la Segunda Guerra Mundial se inicia el periodo de producción de energía eléctrica en reactores nucleares, construyéndose la primera central en 1956, en Calder Hall, en Gran Bretaña. Desde entonces, se han llegado a tener más de 440 reactores en operación que aportan un 16% de la energía eléctrica producida en el mundo. En los próximos años estos datos cambiarán, debido al número de centrales en construcción.



La producción de gas de *fracking* es otra de las tecnologías que han cambiado algunos esquemas, así como la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>. Otro desarrollo importante es el empleo de la electricidad para movilidad en el transporte. Esta nueva tecnología va a revolucionar el mundo de la automoción, ya que evitará el consumo de derivados del petróleo, sin producir gases contaminantes, y sin ruido. Hay toda una tecnología en desarrollo, aunque es necesario avanzar en puntos de recarga, desarrollo de baterías con mayor autonomía, sistemas para tener recargas rápidas. Piensen en lo que significará en la industria del automóvil, donde se producirá un gran ahorro en componentes y en mantenimiento.

El almacenamiento de la energía solar en baterías, no solo para automoción sino para el hogar, es un sueño transformado en realidad, como ha publicitado recientemente Tesla Motors. Será en un principio la solución en zonas en que se producen cortes de luz o en zonas donde las redes no llegan. Las baterías propuestas son de litio ionizado, y permiten almacenar hasta 10 kWh de energía a través de paneles solares.

Edificios inteligentes, campus inteligentes y ciudades inteligentes serán los grandes beneficiados de estas tecnologías en las que la energía va a estar en sintonía con las TIC. No olvidemos el avance en las *smart grid* o redes de distribución de energía eléctrica "inteligente", como una de las aplicaciones de las Big Data.

En esta revolución se le da una gran importancia a la tecnología, y aparecen, nuevas áreas como la robótica, la electrónica avanzada o de control, la nanotecnología y la biotecnología.

Una de las áreas de la biotecnología o de la biomedicina está relacionada con las aplicaciones no energéticas de la energía nuclear. En dichas aplicaciones se suelen emplear fuentes intensas de radiación, como un reactor nuclear, aceleradores y radioisótopos.

La energía emitida por las radiaciones de cualquier tipo permite la diagnosis y el tratamiento de diversos tipos de cánceres mediante la radioterapia, empleando herramientas avanzadas como el conocido TAC (Tomografía Avanzada Computerizada), desarrollada por Hounsfield en 1973; el PET (*Positron Emmission Tomography*), mediante el empleo de emisores de positrones que en su proceso de aniquilación se producen dos fotones, y la Resonancia Magnética Nuclear.

En radioterapia se emplean: cobaltoterapia, protonterapia, terapia con piones, terapia por captura de boro, cuyos principios básicos no vamos a explicar porque sería largo. Estas aplicaciones de la energía nuclear se acoplan a las TIC mediante sistemas de visualización, monitorización y análisis de información, pero los principios físicos se basan en las propiedades energéticas de la energía nuclear y atómica.

No quisiera dejar pasar por alto aquellas tecnologías basadas en las radiaciones para producir energía, como el láser, que además de su empleo en la industria para diversos procesos, tiene una aplicación directa en la fusión nuclear por confinamiento inercial, en la generación de fuentes intensas de radiación como el láser de electrones libres y, sobre todo, en el tratamiento de los materiales para mejorar sus propiedades. Nicolai Basov fue uno de los padres del láser, premio Nobel de Física y Doctor Honoris Causa por esta Universidad.

En este periodo se han suscitado varias crisis económicas motivadas por aspectos políticos y por los cambios en los precios de la energía, sobre todo por el gas y petróleo, y menos por la energía nuclear, al tener un precio del combustible generalmente estable y poco dependiente de las fluctuaciones del mercado. Esta es

una de las debilidades de la UE y de España, por su dependencia de los combustibles fósiles y es por tanto sensible a cualquier cambio de precios, lo cual provoca que la competitividad de los productos industriales esté en desventaja frente a los de otros continentes.

Ya en la recta final de la lección, mencionar que en estos últimos años se habla de una Cuarta Revolución Industrial, conocida bajo el nombre de Industria 4.0 (también señalado como Industria inteligente o Ciber-industria del futuro) que se corresponde con una nueva manera de organizar los medios de producción, empleando las tecnologías digitales y la información inteligente de datos a partir de Big Data. Ciertamente sus efectos serán revolucionarios para la industria, la medicina, el sector energético y sobre todo para la industria en general.

Este concepto fue manejado por primera vez en la Feria de Hannover (Salón de la Tecnología Industrial) en el año 2011. Posteriormente, en 2013, un informe detallando este concepto y sus implicaciones, fue presentado y defendido por un selecto grupo de trabajo e investigación en Alemania.

En esta revolución, el objetivo que se pretende alcanzar es la puesta en marcha de un gran número de «fábricas inteligentes» («*smart factories*») capaces de una mayor adaptabilidad a las necesidades de los usuarios, y a los procesos de producción y distribución, así como a una asignación más eficaz de los recursos, abriendo así la vía a una nueva etapa como un nuevo periodo de evolución de la Tercera.

**Industria 4.0** no es todavía una realidad generalizada, aunque hay multitud de grandes empresas que ya están usando este concepto que abarca a la ingeniería, fabricación, distribución, hospitales, industria energética y aeroespacial, gestión de recursos, etc. Es sin duda un nuevo hito que incorporará importantes cambios en la industria, en la sociedad y desde luego en los procesos formativos de los ingenieros en los próximos años. Sin olvidar el conocimiento riguroso de las materias estudiadas, es preciso impulsar destrezas basadas en el uso de la tecnología digital y del *software* apropiado en cada caso.

### **Conclusiones finales**

Con esta lección, que deseo no les haya cansado mucho y les haya permitido mientras actualizar el correo electrónico, he tratado de repasar brevemente las revoluciones industriales y los cambios sociales y económicos que se han producido en los últimos tres siglos, debidos a los desarrollos científicos previos, a los cambios en la tecnología, y a la forma de hacer y crear las cosas. Estos cambios no hubieran sido posibles sin la aportación de la energía en sus diferentes manifestaciones. Posiblemente, el avance no hubiera sido el mismo y sin la misma rapidez.

Las crisis energéticas han venido produciéndose por los precios de los combustibles y siempre debido al petróleo. Es de esperar que se vuelvan a producir nuevas crisis, por lo que tener un *mix* formado por energías limpias de CO<sub>2</sub>, entre las que se considera la nuclear, es una buena estrategia. La convivencia entre combustibles fósiles, nuclear y renovables estará presente en los próximos años como predice la Agencia Internacional de la Energía. Se prevé que el 75% de la energía primaria demandada en el año 2035 en el mundo será cubierta por el gas, carbón y petróleo, y en un 6% por la energía nuclear.

Es utópico pensar que en un medio plazo se va a sustituir la energía nuclear por otras. Nada más lejos de la realidad. En España supone un 20% del total de energía eléctrica producida, y genera numerosos puestos de trabajo directos e indirectos. La

inversión en investigación y desarrollo en el sector nuclear supone un 1,03% del gasto total del sector y un 1,98% del total de los ingresos del sector. Las empresas del sector participan en 40 grandes proyectos internacionales.

El principal factor diferencial de competitividad de la industria es la energía. Es preciso, en el caso español, establecer primero unas políticas industrial y energética casi inexistentes, para tener una industria con costes finales competitivos, y con la seguridad de abastecimiento energético. Un país es tanto más fuerte cuanto más fuerte es su industria. España ha sabido generar una industria fuerte, pero no es capaz de tener una tecnología avanzada, porque no ha desarrollado la innovación como debía. Desde luego conseguir en 2020 el objetivo del 20% industrial, cuando ahora estamos en un 11%, parece utópico. Por ello, es necesario que en las altas esferas de toma de decisiones se defienda a la industria en general y a las empresas, como lo hacen otros países, y que además exista un mayor compromiso en la relación Universidad-Empresa.

Finalmente, un mensaje: las Universidades solas no podemos crecer en los rankings si no hay una mayor dedicación y soporte de la administración y del sector privado hacia ellas, con una decidida confianza en las universidades en las que la tecnología está muy presente y existen muchos grupos con un elevado nivel científico técnico.

Muchos profesores e investigadores de la UPM han dedicado y dedican su vida académica al mundo energético. El potencial humano de la UPM es capaz de afrontar el reto que puede suponer esta supuesta nueva revolución, en la que el trabajo en equipo multidisciplinar es y será cada vez más necesario.

La energía juega un papel muy importante en la UPM. Además de su diversificación en varias Escuelas, una tiene implícito el nombre de ETSI de Minas y Energía; y la titulación de Graduado en Ingeniero de la Energía y de Máster en Ingeniero de Energía se comparte entre varias Escuelas, con una elevada demanda de alumnos tanto en Grado como en Máster. Hay una gran participación en proyectos nacionales e internacionales y un soporte técnico a empresas. Además, el crecimiento de la demanda en los últimos 150 años ha crecido un factor 100 como puede observarse.

La UPM debe involucrarse cada vez más en este nuevo proceso industrial, tanto en lo formativo como en el investigador.

Espero haber contribuido con esta lección a poner la energía en el nivel de importancia que le corresponde, y a tenerla en cuenta para cualquier avance o desarrollo tecnológico actual y futuro. Además tenemos energía para hacer que la energía sea el foco de atención de cualquier proyecto avanzado.

Muchas gracias