

Onomásticas grande y chica de la historia industrial de la energía

Landmarks in the history of industrial energy

César Lanza Suárez. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Computer Science MSc.
Director de TECNOVA Ingeniería y Sistemas. clanza@tecnova.es

Resumen: Pocas historias de las que ha producido el fascinante mundo de la ingeniería reflejan mejor el espíritu decidido y creativo de la profesión que la del dominio y explotación industrial de la energía, sin la cual no sería posible entender el mundo que conocemos y su evolución en los últimos doscientos años. La historia de la energía y su industrialización en lo que se refiere a generación, transporte y usos se encuentra cuajada de nombres de ingenieros, científicos y empresarios que con su inventiva, talento técnico y arrojo supieron crear las verdaderas condiciones para el desarrollo económico y el progreso social del mundo civilizado. En este artículo se glosan una serie de figuras que el autor considera que tuvieron una importancia clave en ese proceso, tanto a escala mundial (onomástica grande) como en lo que se refiere al caso de España (onomástica chica), y algunos de los hechos a los cuales sus nombres permanecerán indeleblemente asociados.

Palabras Clave: Ciencia; Desarrollo económico; Electricidad; Energía; Energía nuclear; Finanzas; Gas; Hidrodinámica; Historia industrial; Ingeniería; Saltos de agua; Tecnología; Vapor

Abstract: The fascinating world of engineering and the dedicated and creative spirit of those practising this profession is no better illustrated than by the industrial exploitation and control of energy, without which it would be impossible to understand the world we live in and its development over the last two hundred years. The history of energy and its industrialization in terms of generation, transport and use is full of the names of engineers, scientists and entrepreneurs who through their invention, technical talent and courage have created the bedrock for economic development and the social progress of the civilized world. This article lists those personalities considered by the author to be essential to this process, both on an international scale and on a national scale, together with some of the feats by which their names will always be associated.

Keywords: Science; Economic development; Electricity; Energy; Nuclear energy; finance; Gas; Hydrodynamics; Industrial history; Engineering; Waterfalls; Technology; Steam

La industrialización de la energía fue un fenómeno de base esencialmente tecnológica que se inició al comenzar el siglo Diecinueve y se fue desarrollando gradualmente mediante descubrimientos, inventos, éxitos y algún que otro fracaso a lo largo de casi dos siglos, dando lugar al modelo de desarrollo económico y de organización social que están vigentes hoy día a escala global. Se puede afirmar que si el dominio (relativo, claro) del hombre sobre la energía no hubiese alcanzado una dimensión industrial, el mundo sería diferente a como ahora lo conocemos. Sobre es-

ta cuestión no parece que existan muchas dudas por parte de los historiadores de la tecnología ni tampoco predisposición a alimentar grandes controversias desde otras ramas de la investigación académica. Cabe recordar en ese sentido que hasta un crítico tan acérrimo y vitriólico del sistema capitalista como habitualmente ha sido el historiador Eric Hobsbawm, profesor emérito de la universidad de Londres y un marxista radical confeso, concedía en *On History* que es quizá su libro más conocido, un papel determinante a la energía en la conformación del mundo

moderno: «*The Industrial Revolution marks the most fundamental transformation of human life in the history of the world recorded in written documents. Energy is at the core of it*».

Y debe ser bien cierto lo anterior porque la historia de la modernidad contemporánea muestra cómo ya a partir de las postrimerías del Dieciocho se iniciaba una profundísima transformación de los modos de producción y transporte de la energía así como de las formas que caracterizaban su uso en las actividades humanas, desembocando en el mundo que ahora conocemos. Tan tremendo cambio tecnológico se desencadenó de forma paulatina a través de sucesos que involucraron profundamente a ciencia e ingeniería con el mundo del dinero, alumbrando así la historia industrial de la energía a lo largo de un período nada desdeñable que se prolonga hasta el último tercio del Veinte. Se trata de una particular e interesantísima Edad de Oro del sistema ciencia-tecnología-economía que es posible recrear aunque sea esquemáticamente a partir de las efemérides más relevantes, sus inventos e inventores, los descubrimientos científicos y los ingenieros creadores que les siguieron (o en ocasiones precedieron), sus capitanes de empresa y también algún que otro hombre de estado.

La historia de la industrialización de la energía es posiblemente dentro de la más general historia de la técnica aquella que proporciona mejores ejemplos sobre las nada triviales relaciones entre la ingeniería y el mundo de la ciencia. Mientras que la hipótesis convencional reclama la precedencia causal de esta última, es decir el prerequisite que supondría la existencia de un cuerpo formal de conocimientos científicos aplicables a un determinado fenómeno para que se de en tal contexto la posibilidad de una acción positiva del hombre sobre su entorno, la realidad es que no se puede asimilar la ingeniería al papel de una mera ciencia aplicada. Y ello se advierte con claridad meridiana precisamente en la misma historia de la industrialización de la energía.

La ingeniería es una forma especial de pensar y obrar que se ejerce a través de la técnica, y es fruto tanto de la necesidad como del deseo. Proviene de un apetito impaciente y en cierto modo aventurero de hacer que a veces se adelanta en el plano epistemológico a su supuesta madre la ciencia; de hecho, cuántas son las ocasiones en que los conocimientos técnicos nacen antes que los científicos invirtiendo lo que parecería ser el orden natural de las



La potencia formal de las industrias de la energía ya se anticipaba en bocetos como éste del malogrado Antonio Sant'Elia, anterior a la primera guerra mundial.



Elegancia formal e integración en el paisaje, características que se aprecian en esta torre para líneas de alta tensión proyectada por el ingeniero francés Marc Mimram.

cosas. No se olvide como muestra de ello que James Watt construyó y patentó su máquina de vapor años antes de que hubiese siquiera nacido Sadi Carnot, el padre de la termodinámica, o que la España que en las primeras décadas del siglo pasado deslumbraba a otros países de Europa e incluso a los Estados Unidos con la proeza técnica de los saltos del Duero, era al mismo tiempo un yermo científico que salvando la excepcionalidad de don Santiago Ramón y Cajal casi nada digno de mención fué capaz de dar al mundo en ese campo.

Estas notas tienen como fin glosar breve y razonablemente (en cualquier caso con la admiración que merecen) ciertas figuras que a juicio del autor han sido protagonistas de hechos muy singulares en el campo de la energía, personajes que cabe situar en la fecunda intersección de ciencia, técnica y empresa que constituye el ecosistema propio de la ingeniería. Permítasenos en esta levísima exégesis adoptar dos perspectivas complementarias tratando así de cumplir mejor los objetivos de este empeño. En primer lugar dirigiendo nuestra mirada hacia lo que ha sido a escala mundial y en un sentido general el proceso de industrialización de la energía, tratando en ese contexto de identificar a sus protagonistas esenciales a través de hechos seminales sucedidos inicialmente en Europa y más tarde en los Estados Unidos. A esto se llamará la «gran onomástica» de la energía en su Edad de Oro, no por la extensión con la que aquí se va a tratar el tema sino por la magnitud que históricamente supuso tal epopeya. A continuación se intentará recrear a través de algunos de sus nombres propios una historia mucho más particular pero no menos emocionante, la de los extraordinarios episodios del desarrollo hidroeléctrico y del proceso de modernización irreversible del sector de la energía que tuvo lugar en España desde principios del siglo pasado hasta los años 70. Una «pequeña onomástica» que no siempre es bien conocida y en la cual brillaron con luz propia un buen número de eximios ingenieros de Caminos, naturalmente junto con otras personas de diferente filiación profesional porque de todo ha de haber en la casa del Señor como se diría sentenciosamente.

No se pretende más que unir ciertos nombres relevantes con unos pocos trazos biográficos, ensamblándolos en una hilazón de acontecimientos que tal vez no siempre muestren una lógica impecable desde el punto de vista de su tratamiento histórico. Sabido es

que la historia ni siquiera en la tradición anglosajona se construye exclusivamente con personas, y la escuela materialista con su bien arraigada doctrina ya nos advierte que las biografías no aportan valor estructural y sólo muestran la superficie de hechos que poseen una dimensionalidad compleja. Pero también es cierto que el género biográfico goza más del favor del público que las abstracciones del historicismo económico y de la contextualización social, aunque en honor a la verdad los párrafos que siguen ni siquiera tienen pretensión biográfica, simplemente intentan servir a modo de apoyatura onomástica a ciertos hechos sobresalientes de la historia de la energía que merecen ser recordados por su trascendencia. Además ha de quedar claro que quien escribe estas líneas bien se conforma con el intento de acercar al lector algunas motivaciones de aquellas que con buen tino reclama Claude Durand, el editor de Fayard: sana y honesta curiosidad, simpatía y admiración por ciertos personajes, convicción de obtener con su lectura diversión y algún conocimiento a la vez.

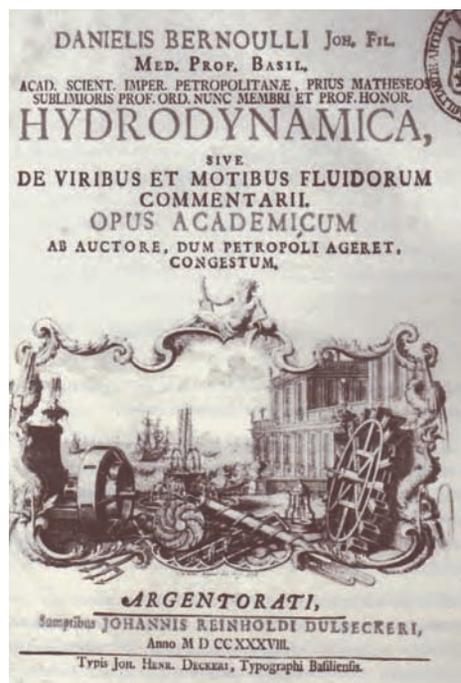
Los grandes nombres de la Edad de Oro de la energía

Para abordar este modesto intento de recreación onomástica de la energía quizá sea preferible partir de los dominios del conocimiento científico-técnico involucrados en este tipo de industria y no ir directamente a buscar los nombres de las personas protagonistas, aunque todo ello se entrecruce finalmente en torno a hechos y figuras concretas. La producción industrial, el transporte y el uso generalizado de la energía se encuentran relacionados profundamente con el desarrollo técnico de la mecánica de fluidos, la termodinámica y la física de los campos electromagnéticos, y si se consideran además los hechos relativos al desarrollo industrial de las fuentes de energía más significativas habrá que tener en cuenta la evolución de la minería del carbón así como la de las técnicas de exploración y refinado de hidrocarburos, sin olvidar naturalmente lo que se refiere al ciclo del combustible nuclear. Tanta amplitud disciplinar obliga en nuestro caso a actuar de manera muy selectiva, acotando forzosamente el ámbito del relato a las figuras de unos pocos personajes emblemáticos elegidos inevitablemente (pero no por capricho) a criterio del autor en cada uno de los campos mencionados. Y eso es precisamente lo que se hará.

(I) Agua y energía

Empezaremos por el mundo de los fluidos, y dentro de ellos aquel que más tempranamente atrajo el interés del hombre por manejarlo, el agua. El estudio sistemático de la hidrodinámica como vector energético parte de las figuras de Daniel Bernoulli y Leonhard Euler, personajes que bien merecen ser situados al principio esta «gran onomástica» de la energía, a pesar de haber vivido en una época anterior a la era de la revolución industrial. Bernoulli es antes que el nombre de una persona el de una ilustre familia suiza que en tres generaciones sucesivas llenó el siglo Dieciocho de hombres de ciencia: matemáticos, fisiólogos (entonces no existían los físicos propiamente dichos), farmacéuticos y juristas. Esta saga familiar empieza con el nombre de Jacob Bernoulli, catedrático de matemáticas de la universidad de Basilea, que vivió durante la segunda mitad del Diecisiete y alcanzó renombre tanto por el estudio de las curvas *mecánicas* (no algebraicas) como por su interpretación liberal del dogma cristiano. Entre las curvas que llevaron a la fama a este primer Bernoulli pueden recordarse algunas de gran importancia para la ingeniería como la catenaria o la cicloide, y también un buen número de tipos de espirales entre ellas las parabólicas y las logarítmicas, estas últimas fundamentales para la navegación oceánica pues constituyen la proyección plana de las líneas de rumbo o loxodrómicas que cortan sobre la esfera terrestre los meridianos con un ángulo constante. Su hermano menor Johann Bernoulli, también un gran geómetra, obtuvo la tratriz como involuta de una catenaria lo cual facilitó su entrada en el círculo de Malebranche en París, uno de los focos de la intelectualidad de la época donde estableció una gran amistad con L'Hôpital y Varignon entre otros célebres matemáticos. Pero la mayor contribución de este Bernoulli a la ciencia fue posiblemente haber iniciado el desarrollo de los métodos variacionales alumbrando una nueva rama de la matemática, muy fecunda como sabemos en sus aplicaciones al estudio de la física.

Daniel Bernoulli, hijo de Johann que nació con el mismo siglo Dieciocho, expuso el teorema fundamen-



Reproducción de la portada de la primera edición de *Hydrodynamica*, publicada por Daniel Bernoulli en el año 1738.

tal de la mecánica de fluidos incompresibles y no viscosos en su obra *Hydrodynamica, sive de viribus et motibus fluidorum commentarii*, publicada en Estrasburgo en el año 1738, dando lugar a lo que desde entonces se denomina el principio de Bernoulli que no es ni más ni menos que la muy conocida expresión en forma de ecuación algebraica de la ley de conservación de la energía aplicada a la dinámica de fluidos en régimen estacionario a lo largo de una línea de corriente. En honor a la verdad hay que recordar que el trabajo de Bernoulli debería llamarse de Bernoulli-Euler ya que este último también nativo de Basilea, alumno del padre del primero y algo más joven que él, obtuvo en la misma época pero unos años más tarde un conjunto de ecuaciones diferenciales de aplicabilidad más general que la de

Bernoulli expresando el mismo principio de invarianza a partir de las leyes de Newton. Sus trabajos en este campo fueron presentados en 1752 a la Academia de Berlín en un tratado que llevaba por título *De motu fluidorum in genere*. De Leonhard Euler, el más gigante de los matemáticos de su siglo, se puede pensar que tal vez hoy no se sentiría excesivamente molesto por el olvido relativo que la historia popular (no así la culta) ha ejercido sobre su nombre en relación con el estudio de los fenómenos de la mecánica de fluidos, pues bien se le recuerda por tantísimas otras y tan importantes contribuciones que hizo a la ciencia.

Aunque a primera vista nos pueda sorprender el hecho de que el inicio del estudio sistemático de la hidráulica tuviera su origen fuera de la disciplina de la mecánica racional en sentido estricto, esta circunstancia aparentemente extraña no lo es tanto si se tiene en cuenta que Daniel Bernoulli fue un científico de los que en su época se denominaban *virtuosos* en el sentido de polifacéticos, y dedicó una buena parte de su genio creativo a cuestiones muy diversas, en general más prácticas que teóricas, no sólo desembocando en la hidrodinámica sino también en otras especialidades de la mecánica como la elasticidad, la teoría del sonido o la arquitectura naval. Su formación universitaria inicial en el campo de la fisiología (medicina), en aquellos tiempos muy influida por la escuela mecanicista, le llevó a desarrollar un gran interés por

esa rama de la ciencia y a ampliar su conocimiento con estudios de especialización en el campo de las matemáticas convirtiéndose en un ilustrado erudito y generalista, con una gran capacidad para aplicar sus extraordinarios conocimientos a problemas de muy diversa índole. Un ejemplo de ello fue su colaboración con el conde Riccati, otro extraordinario matemático, en la mejora hidráulica de los canales de Venecia. Los primeros escritos de Bernoulli sobre líquidos que se publicaron en la revista *Acta Eruditorum* partían de las consideraciones teóricas de Newton, Leibnitz y Huygens, así como de otras ideas preliminares desarrolladas por su propio padre Johann. En la parte aplicada su fuente de inspiración más directa fue la escuela de los hidráulicos italianos, entre ellos Castelli, Torricelli y el ya citado Riccati, y de ahí proviene la consideración original del principio de conservación de la *vis viva* aplicado a los fluidos que conduce al teorema de Bernoulli y establece la conexión disciplinar definitiva entre las ramas de la hidrostática y de la hidrodinámica, hasta entonces separadas. Es también la primera ocasión en que aparece explícitamente el pensamiento energético en el mundo de los fluidos, sentando un precedente que marca un rumbo nuevo en ese campo en consonancia con lo que Feynman denominó siglos más tarde el *carácter* de las leyes físicas.

La física es muy rica en leyes y cada especialidad posee un buen muestrario de ellas, por eso es destacable el hecho de que en su grandísima variedad subyacen una serie de elementos comunes o invariantes que reflejan hechos profundos y que posiblemente encierran algunas de las claves interpretativas de la realidad material que habitamos. Entre esos patrones de regularidad se encuentran los principios de conservación que se pueden asociar a ciertas simetrías continuas, como demuestra el teorema de Noether. Emmy Noether



Dos padres de la ciencia hidráulica, Daniel Bernoulli y Leonhard Euler.

probó en 1915 que existe una relación entre la invarianza de la forma que una ley física toma con respecto a cualquier transformación generalizada que preserve el sistema de coordenadas, incluyendo sus aspectos espaciales y temporales, y la ley de conservación de alguna magnitud física. De esa manera la invarianza de un sistema físico con respecto a la traslación o localización en el espacio da lugar a la ley de

conservación del momento lineal o cantidad de movimiento, mientras que la invarianza con respecto a la dirección del eje de rotación conduce a la conservación del momento angular. Finalmente es la invarianza con respecto al desplazamiento en el tiempo la que da origen al principio bien conocido de conservación de la energía, sobre cuya importancia no hace falta alguna extenderse.

Noether llegó a estas conclusiones desde la abstracción de la matemática pura, demostrando que cuando se tiene un sistema cuyo lagrangiano es independiente del tiempo existe un grupo uniparamétrico de traslaciones temporales o de simetrías que hacen que pueda construirse una magnitud que permanece constante a lo largo de la evolución temporal de ese sistema, y tal magnitud es precisamente su energía mecánica. Este teorema estableció una hermosísima y penetrante visión matemática del fenómeno, aunque los principios conservativos también se pueden

interpretar desde el ámbito propio del pensamiento físico quizá con menor elegancia formal pero de una manera mucho más intuitiva.

Pero volviendo de nuevo a nuestra pequeña historia de la hidrodinámica debemos recordar que el aprovechamiento a escala industrial de la energía que transporta el agua requirió algo más que fórmulas o brillantes teoremas, siendo necesario en particular inventar un tipo de máquina que es la turbina. Relacionados con los orí-

La ingeniería hidráulica nace en buena medida con la turbina. El ingeniero de minas y saint-simoniano Benoit Fourneyron fue un precursor de ese tipo de máquina, perfeccionada y puesta en el corazón de la industria por James Bicheno Francis, ingeniero civil fundador de ASCE.



genes y la evolución de este artefacto tan singular es como aparecen en la parte hidráulica de nuestra onomástica un sinfín de nombres propios entre los cuales podrían destacarse el del ingeniero francés Claude Bourdin que a principios del Diecinueve concibió la idea de una máquina hidráulica a presión e incluso acuñó el propio término turbina tomándolo prestado del latín, aunque no fuese él sino Fourneyron el primero que consiguiera hacer realidad unos años más tarde esas ideas revolucionarias. También cómo no, el nombre del oxoniense James B. Francis, un inglés emigrado a los Estados Unidos que mejorando los diseños previos de Poncelet y Boyden diseñó la turbina centrípeta radial de reacción, situando así a la gran hidráulica en el corazón la modernidad industrial al alcanzar rendimientos sostenidos de eficiencia en la conversión mecánica de la energía del agua por encima del 90%. La primera de las bases de la hidroelectricidad quedaba de esta manera establecida.

De Bourdin poco se sabe al margen de haber tenido la fortuna de dar con la palabra adecuada y la idea fundamental, pues en realidad fue Benôit Fourneyron discípulo suyo y compañero del cuerpo de Minas, quien parece ser que dio el paso que permitió verdaderamente transformar la mediocre rueda hidráulica en el embrión de las turbinas que hoy conocemos, al ser capaz de construir y hacer funcionar con éxito dos máquinas sumergidas en el canal Ródano-Rhin para abastecer de energía a la forja de Fraisans en el Jura hacia 1830. El *saint-simonien* Fourneyron conseguiría a continuación la primera patente sobre el nuevo invento y a partir de ahí el ingreso en la *Académie des Sciences*, una medalla de oro en la Exposición de 1839 y también la Legión de Honor. Es interesante reseñar cómo esas primeras máquinas hidráulicas, incluso las anteriores a las turbinas, impresionaban a los habitantes de las poblaciones donde se instalaban. Así en *Le Rouge et le Noir*, la novela central de Stendhal escrita precisamente en 1830 se puede leer la frase siguiente que describe la impresión que el narrador recibe al hacer su entrada en el pueblecito de Verrières, también en la región del Jura: «À peine entre-t-on dans la ville que l'on est étourdi par le fracas d'une machine bruyante et terrible en apparence. Vingt marteaux pesants, et retombant avec un bruit qui fait trembler le pavé, sont élevés par une roue que l'eau du torrent fait mouvoir».

De la vida del ingeniero James B. Francis, creador en 1848 del tipo de turbina hidráulica que lleva su

nombre y que aún prevalece en el sector junto con los de Pelton (turbina de acción) Kaplan y Deriaz (también de reacción), se sabe que además de consolidar con sus perfeccionamientos la industria de estas máquinas hidráulicas fue miembro fundador de ASCE, la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, y presidente de esta importante asociación. Aparte de inventor James Bicheno Francis fue un ingeniero hidráulico muy reconocido en su práctica profesional más normal por haber proyectado y construido la compuerta llamada *Francis' Folly* en el río Merrimack, salvando a la ciudad de Lowell en Massachusetts de la agonía de muchas inundaciones devastadoras hasta la destrucción de ese ingenio hidráulico ocurrida en el año 1970 como consecuencia de un incendio.

La turbina de tipo Francis es como bien se sabe la máquina hidráulica de reacción más adecuada para saltos de grande o mediana altura, mientras que para aprovechamientos de menor potencial hidroeléctrico se suelen utilizar turbinas de los tipos Deriaz o Kaplan a medida que disminuye la altura disponible. A pesar de que se trata de un invento ya antiguo con más de 150 años la turbina hidráulica no ha dejado de ser objeto de innovación y de mejoras técnicas en materiales, geometría y sistemas de control desde el siglo pasado. En términos de potencia unitaria se ha conseguido pasar de una cifra en torno a 100 MW que constituía el estado del arte a mediados de los años 70 (Almendra-Villarino) a los actuales casi 1.000 MW con que cuentan los equipos instalados en las centrales de los saltos de las Tres Gargantas, Logtan y Laxiwa en China.

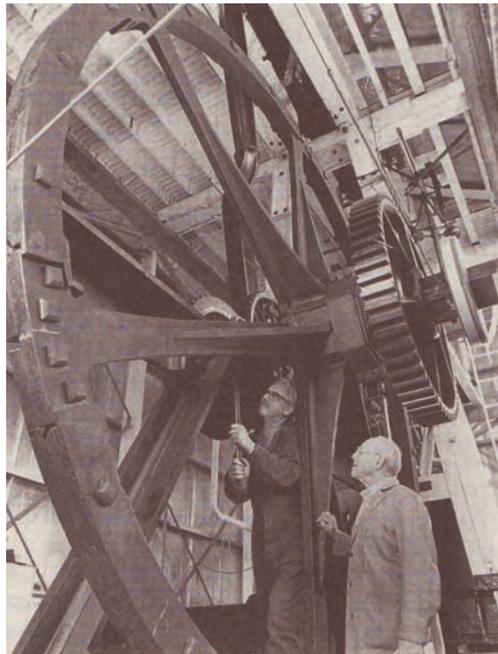
La historia de la hidroelectricidad a escala industrial y con finalidad comercial, es decir abierta a la posibilidad de abastecimiento y venta a terceros, se iniciaba propiamente en 1882 en el complejo de Appleton sobre el río Fox en Wisconsin (EEUU) que se inauguró con una potencia de 12,5 kW y generaba corriente continua por medio de una dinamo tipo K del mismo tipo aunque inferior potencia a las que Thomas Edison había instalado en su central de vapor de Pearl Street en Nueva York. Esta última fue en sentido estricto la primera central eléctrica (en este caso térmica) en explotación comercial del mundo al haber entrado en funcionamiento unos meses antes que el complejo de Appleton con la finalidad de dar servicio al alumbrado de la parte baja de Manhattan con la nueva luz de Edison, blanda y agradable al ojo humano, y desprovista de los agudos e irritantes contrastes

de la iluminación anteriormente disponible que usaba el arco eléctrico.

(II) Vapor y calor

Vapor y electricidad constituyen junto con los saltos de agua las palabras clave de las gestas iniciales de la industrialización energética, la primera de ellas asociada a la conversión de la energía térmica que se encuentra almacenada químicamente en los combustibles en energía mecánica y movimiento. Es en tan cálido contexto donde aparecen nuevos nombres para nuestra onomástica, algunos de ellos tan importantes como son los de Watt y Carnot, dos ingenieros tan dispares como complementarios hayan podido llegar a ser a la postre. Empecemos por James Watt, un escocés ilustrado y pragmático que fue coetáneo de tan distinguidos personajes como Adam Smith o John Millar, filósofos morales o economistas que aunque circunscritos al mundo de las ideas y de la razón académica compartieron con nuestro admirado ingeniero un profundo interés por el crecimiento económico y la creación de riqueza que proviene tanto de la acción del hombre como de la propia naturaleza.

La historia de Watt es la de la máquina de vapor, aunque ni el invento es enteramente suyo ni el escocés se limitó exclusivamente a contribuir con esta creación suya al desarrollo tecnológico que puso fin a la civilización pre-industrial. La máquina de vapor al menos en su concepción más primitiva fue en puridad concebida hacia 1712 por un herrero de Darthmouth llamado Thomas Newcomen, quien la materializó de una manera absolutamente artesanal y empírica con la finalidad de proporcionar energía mecánica a las bombas para el drenaje de las minas que se explotaban en la zona. Su falta de fundamentación teórica y la relativa novedad del invento tuvieron como consecuencia lógica su imperfección, fundamentalmente en términos de rendi-



Volante de inercia de una máquina de vapor de Boulton-Watt, conservada en estado de funcionamiento en el National Museum of Science and Industry, Londres.

miento mecánico que difícilmente superaba una tasa del 25% sin que se superaran muy bien las razones de tan baja eficiencia. A pesar de ello la máquina de Newcomen supuso un salto cualitativo sobre otras soluciones anteriores más primitivas como la bomba de vapor de Savery. Un primer intento de optimización fue llevado a cabo por John Smeaton, quien sin modificar el diseño de la máquina de Newcomen jugó experimentalmente con sus principales parámetros siendo capaz al menos de predecir razonablemente el rendimiento termomecánico en función de las variables de diseño: longitud y diámetro del pistón, tamaño y presión de la caldera, etc. Sin embargo la verdadera mejora que situó a la máquina de vapor en la au-

téntica antesala de la revolución industrial energética fue el rediseño practicado por Watt en 1774, esencialmente la inclusión de una cámara de condensación independiente donde el vapor se podría enfriar sin afectar a la temperatura del cilindro-pistón. James Watt y su socio Matthew Boulton construyeron numerosas máquinas según su patente, y estos aparatos fueron el auténtico motor de la primera etapa de la industrialización especialmente en países y zonas geográficas ricas en carbón pero pobres en producible hidroeléctrico.

James Watt aparte de haber demostrado una intuición termodinámica pre-industrial muy acertada, también poseía una penetrante visión geométrica de la mecánica pues no en vano sus primeras ocupaciones tuvieron que ver con el diseño y el comercio de

instrumentos científicos. Y es precisamente en el campo de los mecanismos donde tuvo lugar otra de las afortunadas intervenciones de este ingeniero, el paralelogramo articulado que mediante la acción combinada biela-manivela permitió transformar el movimiento lineal del émbolo del pistón en un movimiento circular inicialmente pensado para mover tornos y molinos. Lo cual una vez con-

Los Stephenson, padre e hijo. A la izquierda George, autodidacta y a la derecha Robert, ingeniero civil.



seguido alumbró otro salto cuántico en la historia industrial de la energía, en este caso no en lo que se refiere a su producción sino en los usos, al habilitar por vez primera el movimiento autopropulsado de las ruedas de un vehículo, haciendo posible unos años más tarde la invención de la locomotora de vapor. Su aparición como artefacto suficientemente fiable y potente para el transporte ferroviario se debe al genio técnico del autodidacta George Stephenson y de su hijo el ingeniero Robert Stephenson, quienes construyeron e hicieron funcionar eficazmente la famosa máquina Rocket en el año 1829. El éxito comercial de esta locomotora de vapor establece de facto el inicio del ferrocarril, que como bien se sabe fue uno de los hechos clave en la extensión territorial del modelo de sociedad industrial. Los Stephenson padre e hijo brillan con luz propia en el panteón glorioso de los ingenieros victorianos junto los nombres no menos ilustres de Telford, Brunel y varios otros.

Robert Stephenson e Isambard Kingdom Brunel, al margen de su amistad personal y camaradería en el ejercicio de la profesión de ingenieros civiles, fueron al mismo tiempo fieros rivales comerciales en los negocios ferroviarios durante toda su vida. El primero de ellos era un inglés del norte, conservador y orientado a los aspectos prácticos de la ingeniería mientras que el segundo era de origen sureño, políticamente liberal, extrovertido y con un buen bagaje teórico quizá debido a sus raíces continentales. Ambos compartieron el hecho de haber tenido en las figuras de sus padres antecedentes que en buena medida marcaron su orientación profesional. Tanto George Stephenson, un inventor hecho a sí mismo, como Marc Isambard Brunel, ingeniero francés asentado en Inglaterra tras huir del terror revolucionario, iniciaron en su día las actividades y negocios que años más tarde sus hijos respectivos supieron acrecentar y hacer fructificar con notable éxito. Brunel, que es bien conocido en el mundo de la ingeniería por la gesta del primer túnel urbano construido por debajo del río Támesis en Londres, fue a su vez promotor e ingeniero jefe de la línea férrea Londres-Bristol denominada comercialmente *Great Western Railway* y que constituyó una de las maravillas de la ingeniería victoriana por algunos de sus sus



Retrato de Isambard Kingdom Brunel, epitome del espíritu pionero y emprendedor de la ingeniería victoriana.

túneles como el de Box y viaductos como el de Clifton. La compañía se creó en 1833 y ya en las primeras decisiones técnicas el genio de Brunel se hizo evidente, en especial en la polémica entre ingenieros que le enfrentó con Robert Stephenson por el tema del ancho de la vía. Los ferrocarriles de Stephenson habían sido originalmente mineros y se construían con una anchura de vía que Brunel juzgó insuficiente para el tráfico de pasajeros por razones de confort, estabilidad y capacidad de transporte. Esta decisión, justificada mediante cálculos y argumentos técnicos bastante convincentes se revirtió después de haber fallecido ambos (curiosamente en el mismo año, 1859) básicamente por razones de compatibilidad con las líneas de Stephenson que tenían una mayor extensión por el país. Un ejemplo más como se puede ver de la preeminencia del comercio sobre la industria.

Mientras que Brunel dominaba sobre la línea Londres-Bristol, Robert Stephenson hacía lo propio con las líneas que iban a Birmingham, Liverpool y Manchester añadiendo gloria a la ingeniería civil ferroviaria con obras emblemáticas como el puente de Newcastle sobre el río Tyne, el emblemático puente Britannia o el túnel de Kilsby. Ambos ingenieros tuvieron también que sufrir algunos reveses importantes en su papel de pioneros del ferrocarril, Stephenson con el colapso del puente sobre el río Dee en Chester que causó un gran número de víctimas y el propio Brunel con los trenes neumáticos atmosféricos que intentó operar en la línea South Devon Railway y que fueron un completo fracaso. Fueron grandes amigos y rivales en una época heroica donde los hechos de los ingenieros poseían en sí mismos un fuerte valor simbólico, como atestigua su presencia en la pintura y demás artes. Quién no recuerda aquel maravilloso cuadro de Turner titulado *Rain, Steam and Speed – The Great Western Railway* y lo bien que refleja el carácter epopéyico de todo aquello.

Volviendo al vapor como vector energético y más allá de sus aplicaciones revolucionarias al transporte durante el siglo Diecinueve, merece la pena detenerse ahora en un hecho que aunque no es en sí mismo excepcional resulta sin embargo significativo de lo que es la relación entre la ingeniería y la ciencia, es

pecialmente cuando aquélla se adelanta en su intuición y gusto por la aventura a la rigurosidad formal, la pompa y circunstancia que adornan a la segunda. Como bien muestra la historia, máquinas de vapor y locomotoras fueron realidades tangibles que empezaban a cambiar el mundo antes de que se conocieran con suficiente concreción las bases científicas que explican su funcionamiento energético, es decir antes de que existiese la rama de las ciencias físicas que conocemos como termodinámica, término acuñado por Lord Kelvin hacia mediados del siglo Diecinueve. Este hecho requiere alguna explicación.

La primera obra científica que se conoce en materia de termodinámica se titula *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* y fue publicada en París en el año 1824. Su autor era un joven ingeniero politécnico de 27 años llamado Nicolas Sadi Carnot, conocido entonces más que por sí mismo a través de la figura de su padre Lazare Carnot llamado el *Grand Carnot*, un ingeniero militar que había sido discípulo de Monge y de Vauban, autor por su parte de una interesante obra científica entre la cual destaca el *Essai sur les machines en général*. Su hijo Sadi que fallecería aún joven de una fiebre escarlatina, sentó las bases de una ciencia nueva que sirvió una vez establecida para dar alas a los primeros inventos sobre máquinas térmicas a los cuales se han referido los párrafos anteriores de estas notas. Y sin embargo la obra del joven Carnot, hoy tenida por seminal entre las ciencias de la energía y en buena medida de una originalidad revolucionaria, pasó en su tiempo bastante desapercibida.

Sadi Carnot era una persona en cierto modo enigmática pues perteneciendo a una familia de la élite militar de Francia (su padre fue Ministro de la Guerra con Napoleón y uno de sus tíos teniente-general del cuerpo de Ingenieros) sólo desempeñó puestos dentro del servicio activo unos 15 meses de los 11 años que permaneció en el Ejército, del cual solicitó y obtuvo licencia definitiva en el año 1828. Vinculado al universo masónico, realizó estudios complementarios a su formación original como oficial politécnico del arma de Ingenieros tanto en la universidad de la Sorbona



El joven ingeniero politécnico militar Nicolas Sadi-Carnot, creador de la termodinámica como disciplina científica.

como en el Colegio de Francia. En su tiempo la única rama de la física que contaba con un estatus científico bien establecido era la mecánica, mientras que la electricidad, el magnetismo, la química y la ciencia del calor aún se encontraban lejos de tal consideración. Bien es cierto que ciertos trabajos de científicos de renombre como Laplace, Biot, Poisson y Fourier estimularon a algunos matemáticos y físicos a interesarse por los fenómenos asociados al calor y en particular a los procesos de transferencia de lo que algunos empezaban a considerar la gran fuerza motriz del mundo, aunque sin haber logrado comprender todavía su naturaleza ni las leyes a las cuales obedecía.

Durante aquellos años las publicaciones de contenido científico-técnico informaban con admiración de los progresos en el arte del diseño y construcción de máquinas de vapor que a partir de Watt se estaban produciendo en Inglaterra, situando a este país en una posición de supremacía industrial sobre Francia. La utilización de vapor a alta presión (a lo cual Watt se oponía) y el refinamiento gradual en su diseño hacía de esas máquinas artefactos cada vez más eficientes en la conversión de la energía calorífica del carbón en potencia mecánica, lo cual llevó a conjeturas sobre temas como el cálculo del equivalente mecánico del calor o la posibilidad de un movimiento perpetuo. Hacia finales de la primera década del siglo Diecinueve los ingenieros ya reconocían de forma explícita que la obtención de mejoras sustantivas más allá de lo marginal en las máquinas de vapor requería un estudio a fondo del fenómeno del calor apoyándose en las ciencias físico-matemáticas y no sólo refinamientos sucesivos en el arte de los detalles mecánicos de los aparatos.

Y en tal contexto fue como, sin antecedentes que permitieran suponer de Sadi Carnot una contribución de tal calibre, apareció en el año 1824 el libro de las *Réflexions* del cual se imprimieron inicialmente 600 ejemplares. Se trata de un hecho que a los historiadores de la ciencia aún les parece sorprendente. La obra de Carnot muestra su originalidad e intuición desde su mismo inicio y se preocupa en insistir en los conceptos clave de la termodinámica por ejemplo el papel que juega necesariamente la diferencia de

temperaturas para que se dé la posibilidad de aprovechamiento de una fuerza motriz por medio del calor, una idea que de hecho anticipa la segunda ley de la termodinámica precisamente conocida como principio de Carnot. La formalización que se hace en ese libro de lo que sería una máquina térmica perfecta funcionando en un ciclo reversible de cuatro fases alternativamente isotérmicas y adiabáticas, sienta las bases de un poderoso instrumento de análisis que es el que se aplica desde entonces al estudio de cualquier máquina térmica real, sea ésta un motor, una bomba o una turbina. Y sin embargo tan extraordinaria obra hizo su aparición discretamente y pasó después varios años sin pena ni gloria.

Es curioso conocer las interpretaciones con que desde la historia se trata de explicar el escaso interés que despertó entre la comunidad científico-técnica de la época un libro que finalmente ha tenido tantísima transcendencia. En primer lugar los historiadores sugieren la falta relativa de visibilidad del autor entre los sabios de aquellos años, ya que a pesar del valor que indudablemente tenía su apellido, él mismo no dejaba de ser poco conocido personalmente en ese mundo tan selecto y relativamente cerrado. Por otra parte Carnot publicó directamente su obra en forma de libro, es decir teniendo como finalidad su distribución al público en lugar de haber planteado previamente su entrega a la *Académie* en forma de memoria, lo cual hubiera atraído sin duda mucha mayor atención hacia ese texto. Tampoco tuvo el tacto o la astucia de enviar para su examen algún ejemplar a las bibliotecas de las dos grandes escuelas civiles de ingenieros vinculadas a *l'École Polytechnique*, en concreto *Mines* y *Ponts et Chaussées*, lo cual le hubiera situado en conexión con la élite de la ingeniería francesa de su tiempo. Lo cierto es que la obra fue prácticamente desconocida por quienes deberían haber sido sus receptores naturales. Resulta igualmente sorprendente constatar que el propio autor mantuvo un silencio casi total sobre desde la fecha de publicación de las *Réflexions* hasta su propia muerte, ocurrida en 1832. Tuvieron aún que pasar algunos años más hasta que Émile Clapeyron, profesor de *l'École des Mines* y colega de nuestro Agustín de Bet-



Michael Faraday, científico experimental precursor de los estudios sobre la electricidad y que anticipó el fecundo concepto de línea de fuerza.

ciencias de la energía.

(III) Electricidad y magnetismo

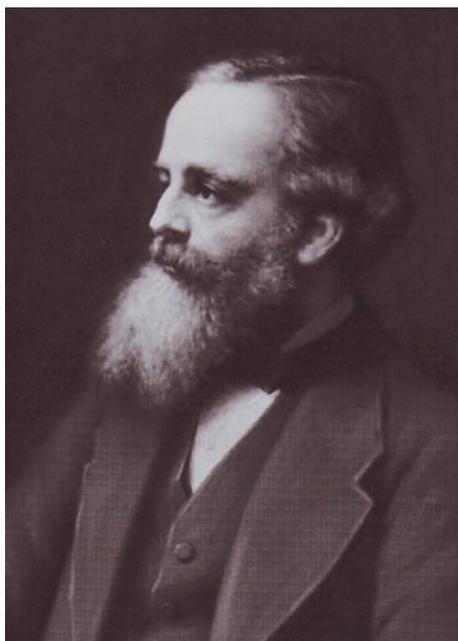
Agua y vapor hemos visto como fueron los dos vectores energéticos más importantes que se encuentran en los prolegómenos de la revolución industrial y su utilización mediante la maquinaria adecuada proporcionó las condiciones para abastecer las necesidades de los puntos inmediatamente próximos al lugar de generación, aunque no suficientes para extender territorialmente el uso de la energía debido a las limitaciones de ambos medios para mantener esa cualidad en el transporte a distancia. El aprovechamiento hidroenergético requiere potencial gravitatorio que se aprovecha prácticamente a pie de presa, mientras que el contenido energético del vapor depende de su entalpía y ésta a su vez de la proximidad física a la fuente de calor. La generación y el uso eran actividades que se encontraban en aquellas primeras décadas espacialmente unidas, y la posibilidad de separar físicamente los centros de producción de energía y los puntos de consumo, aprovechando economías de escala en la generación y de red en la distribución (la economía también cuenta) exigió un vector completamente nuevo: la electricidad.

El dominio de la corriente eléctrica ha sido sin duda uno de los hechos más relevantes del siglo Veinte, y fue posible gracias una vez más a la conjunción

afortunada de ciencia y tecnología, a veces concatenadas, otras entrecruzadas y también por qué no tirando cada una por su lado. No es fácil seleccionar unos pocos nombres propios entre el gran número de personajes que han ido tejiendo la historia de la electricidad ni en el plano puramente científico y quizá menos aún en el lado de la ingeniería. Pero viéndonos obligados a seleccionar lo haremos en las figuras extraordinarias de Faraday y Maxwell, dos científicos de enorme talla aunque singularmente diferentes. Sobre los ingenieros eléctricos se hablará más tarde.

De Michael Faraday se dice, seguramente con razón, que fue uno de los científicos experimentales más importantes que ha dado la humanidad. Michael Faraday fue esencialmente un químico que por razones de cuna no disfrutó de una educación superior congruente con sus capacidades y consecuencia de ello fue una deficitaria formación matemática que escasamente llegaba hasta la trigonometría y el álgebra elemental. Esta circunstancia hubiese supuesto una tara difícilmente superable en otra persona que intentara abrirse paso en el clasista mundo de la ciencia británica del siglo Diecinueve y sin embargo Faraday, hijo de un herrero nacido en un barrio humilde del sur de Londres en 1791, supo zafarse de prejuicios y superar barreras sociales adquiriendo un estatuto científico de primerísima categoría y el reconocimiento debido. Aunque trabajo le costó.

Aparte de sus méritos en el desarrollo de conocimientos científicos sobre temas diversos y en especial en lo relativo a los primeros balbuceos de la disciplina del electromagnetismo, nuestro hombre se caracterizó por la singularidad de haber compaginado, aparentemente sin mayor problema, la actitud inquisitiva de la ciencia con una profunda fe cristiana que se expresó en su pertenencia a la secta religiosa de los sandemanianos (también conocidos como glasistas), una escisión de la iglesia de Inglaterra que practicaba una interpretación literal de la Biblia. Este hecho en cierto modo contradictorio tuvo su importancia pues trascendía de la esfera de lo puramente personal trasladándose a los aspectos filosófico-científicos que impregnaron el pensamiento de Faraday.



El matemático escocés James Clerk Maxwell, que estableció las bases teóricas de la ciencia del campo electromagnético.

La faceta espiritual o si prefiere metafísica de su personalidad es interesante más allá de lo anecdótico. David Gooding sostiene en el magnífico ensayo que escribió sobre el pensamiento científico de este genio, que en algunos de sus aspectos no sólo seguía las intuiciones de un afortunado empirismo sino que igualmente se pueden encontrar trazas de sus inquietudes y suposiciones metafísicas, en particular de algunas de sus convicciones sobre la estructura de un mundo físico que habría sido creado por la Divinidad. En ese sentido él imaginaba que debería existir una conexión profunda aunque quizá inasequible a la razón entre las ciencias (entonces filosofía) de la naturaleza y lo que él llamaba la teología de la naturaleza, que abarcaría las relaciones entre el Creador y el mundo, su obra. Faraday pensaba que las discusiones que Newton sostuvo con sus pares sobre la inmanencia de Dios en la creación o las disputas interpretativas sobre el significado de los versículos iniciales del libro del Génesis forman parte de esa teología, en una línea que nos recuerda a las posiciones que más recientemente postulan vincular la ciencia con el denominado «diseño inteligente». Como sandemaniano convencido que fue creía que la Biblia no sólo contiene las claves de la creación del mundo en el Génesis, sino que también incluye los planes divinos para el futuro de la creación en otros libros proféticos como el de Daniel o el de las Revelaciones, manifestando la perfección de Dios en su obra. El orden natural sería por tanto una especie de economía en el sentido de óptimo metacientífico que se refleja en principios tales como la invariabilidad de las leyes naturales, la causalidad equiprobable o la conservación de determinadas magnitudes mecánicas. Incluso en el concepto de línea de fuerza, una de sus más poderosas y fructíferas intuiciones asociada al desarrollo de la teoría de los campos electromagnéticos, veía Faraday un reflejo de esa economía metafísica en el sentido de que representarían caminos de mínima resistencia para el discurrir de las fuerzas y por tanto una forma de perfección.

Tomando de nuevo al hilo de las realidades que pueden ser constatables mediante la experimentación o el uso de la simple razón humana y no de una

supuesta revelación, no se puede olvidar que el nombre de Michael Faraday está asociado muy directamente al nacimiento de la disciplina del electromagnetismo, cuya primera fenomenología había sido descubierta por Ørsted en 1821. La ley de Faraday establecida a partir de sus experimentos 10 años más tarde que los del danés, explica el fenómeno de la inducción electromagnética, es decir cómo un campo magnético variable produce una fuerza electromotriz y su correspondiente campo eléctrico, y por lo tanto cómo la variación del flujo magnético ejercido sobre un conductor abre la posibilidad de generar corriente. La ley de Faraday puede considerarse como la explicación precursora de lo que sería algo más tarde la formalización completa de la electrodinámica clásica a través de las hermosísimas ecuaciones obtenidas por el matemático-físico James C. Maxwell. Pasemos pues ahora a visitar el recuerdo de la figura de este eminente escocés que fue uno de los padres de la física teórica en los albores de la modernidad e incluso hoy tal como la conocemos.

Las ecuaciones de Maxwell describen dos campos, eléctrico y magnético, sus interacciones mutuas y las que establecen con la materia. Se trata de campos vectoriales que según la teoría de Helmholtz pueden ser descritos de forma analítica si se conocen su divergencia y rotacional. Precisamente el tremendo valor del trabajo de Maxwell fue sintetizar en cuatro ecuaciones, primero diferenciales (nivel microscópico) y más tarde en forma integral (macroscópicamente) los principios fundamentales que rigen las relaciones entre los fenómenos esencialmente distintos pero profundamente interrelacionados de la electricidad y el magnetismo. Maxwell no partió para ello de cero pues su conjunto de ecuaciones en realidad suponen una reformulación elegante, de incontestable y sólida belleza matemática, de principios físicos que ya habían sido previamente advertidos: la ley de Coulomb sobre el campo electrostático, la de Ampère sobre el campo magnetostático, la mencionada ley de Faraday sobre la inducción electromagnética, el principio de conservación de la carga eléctrica y el de la imposibilidad de existencia de monopolos magnéticos.

La obra originalmente escrita por James C. Maxwell en el campo de la electrodinámica clásica se encuentra básicamente recogida en tres artículos que publicó a lo largo del decenio que va desde 1855 a 1865. El primero de ellos, *On Faraday's Lines of Force*

fue escrito cuando nuestro hombre tenía 24 años y surgió como consecuencia de las lecturas que previamente había realizado sobre los experimentos de Faraday en electricidad y magnetismo. Razonando por analogía con las líneas de corriente de un fluido ideal (incompresible) Maxwell estudió matemáticamente en el primero de sus trabajos cual sería la forma de las líneas de fuerza que había imaginado Faraday. Para ello exploró la geometría del continuo que esas líneas parecen delinear, desprovistas de otras cualidades que las puramente geométrico-espaciales pues la analogía empleada con la mecánica de fluidos, válida en ese sentido, carece de fuerza explicativa en términos físicos al haber desaparecido en este caso el concepto de masa.

La pureza de las líneas geométricas de esa primera obra se transforma al adquirir entidad física sustantiva en su siguiente trabajo, *On Physical Lines of Force*. En este artículo publicado en 1861 Maxwell conjeturó y demostró en la teoría cómo el espacio debería estar permeado por un medio físico conexo que obedeciendo las leyes de Newton sería el responsable de los fenómenos mecánicos observados empíricamente y que se asociaban con el electromagnetismo. Aquí aparece la variable tiempo por vez primera alentando la posibilidad a la propagación espacio-temporal de tales efectos en forma de onda y dando lugar también por primera vez a las especulaciones sobre la naturaleza de la luz como fenómeno electromagnético.

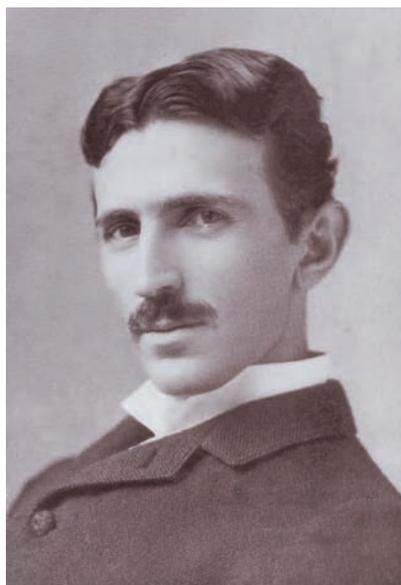
El tercero de los artículos, *A Dynamical Theory of Electromagnetical Field* de 1865, es un estudio mediante las herramientas de la matemática lagrangiana de los campos electromagnéticos en términos de energía y no de fuerza. El campo se trata aquí como un medio continuo portador de energía, lo que estamos llamando en estas notas un vector energético. La teoría del electromagnetismo se hace entonces plenamente inteligible a pesar de que este último trabajo es el que posee una orientación más especulativa y abstracta de los tres. Hay que hacer notar que a pesar de esta circunstancia el razonamiento seguido aquí por Maxwell alumbró un experimento crucial para apoyar sus consideraciones sobre la naturaleza de la luz, que fue la obtención de la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas, precisamente el mismo valor de la velocidad de la luz.

La afición desarrollada por Maxwell hacia la física matemática le vino desde joven, quizá por el hecho

de haber sido discípulo de Sir William Hamilton durante sus primeros años de estudio en la universidad de Edimburgo. Transferido posteriormente a la universidad de Cambridge, ingresó en el Trinity College y en la sociedad secreta de «los Apóstoles» que congregaba a una escogidísima élite de estudiantes de esa universidad (una buena parte de los miembros del conocido círculo de Bloomsbury como Lord Keynes, Virginia Woolf o Edward M. Forster también fueron «apóstoles» unas décadas más tarde). El rango de sus intereses científicos no se limitó al campo del electromagnetismo al cual debe sin duda alguna su puesto de honor en la galería de los físicos famosos, sino también al estudio del color, la elasticidad o la astronomía. Sus cuatro ecuaciones sobre los campos eléctrico y magnético, conocidas en física como «*Maxwell's Wonderful Equations*» fueron presentadas a la Royal Society en 1864, y hoy día se las considera de una importancia similar a la que representan las leyes de Newton en la mecánica clásica. Una de las conclusiones inesperadas y por tanto más sorprendentes de esas ecuaciones fue como se ha mencionado antes el cálculo teórico de la velocidad de la luz, que sirvió para verificar y completar en términos cuantitativos la conexión entre la realidad de aquel fenómeno y la teoría de los campos electromagnéticos, hecho que en sí mismo constituye uno de los hitos importantes de la ciencia del siglo Diecinueve.

Maxwell era un científico brillante pero curiosamente parece que no llegó a preocuparse demasiado sobre si el resultado de sus trabajos tendría que ver o no con el futuro de la energía a gran escala, porque su interés por las aplicaciones del electromagnetismo se centraba esencialmente en su utilización para desarrollar nuevos medios de comunicaciones, en particular generar y transmitir señales aptas para la telegrafía y la radionavegación. En este sentido se puede afirmar que de las dos grandes ramas de la ingeniería eléctrica (potencia y comunicación) es la segunda la que más directamente se encontraría en deuda con el genial escocés, aunque tampoco se debe menospreciar ni mucho menos su influencia en el devenir de la primera de ellas.

Los descubrimientos de Faraday y los estudios teóricos de Maxwell resultaron un punto de partida neces-



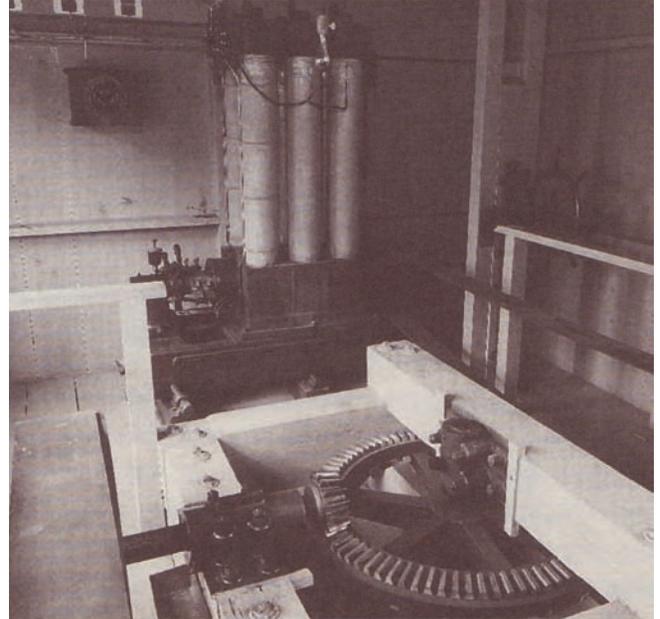
Fotografía del ingeniero de origen serbio Nikola Tesla, de importancia decisiva para el nacimiento de la moderna ingeniería eléctrica de potencia.

sario pero la verdad es que no puede ignorarse que el campo de la energía eléctrica a escala industrial ha sido desde sus orígenes en la realidad práctica de las cosas un mundo de ingenieros, y entre todos ellos hubo dos que uniendo a su brillantez profesional la complementariedad de sus personalidades sentaron las bases de la modernidad energética. Se trata de Tesla, un ingeniero inventor, y de un ingeniero emprendedor, Westinghouse, el primero de ellos un serbio nacionalizado norteamericano, y un americano de pura cepa y veterano de la guerra civil de los Estados Unidos el segundo.

Nikola Tesla fue un hombre extraordinario, fascinante y como muchos genios controvertido e incomprensible en algunos de sus aspectos. «*The man who invented the Twentieth century*» dicen de él sus admiradores reconociendo de esa manera su protagonismo en algunos de las invenciones y tecnologías que dieron paso a la denominada Segunda Revolución Industrial, y en particular al uso generalizado de la energía eléctrica como un servicio de uso generalizado por la población. Como más adelante veremos Tesla fue el inventor de la corriente alterna polifásica que hizo técnicamente posible el transporte de electricidad a grandes distancias, y además del motor de inducción de corriente alterna. De esa manera supo y tuvo la fortuna de actuar con carácter demiúrgico en el origen del negocio eléctrico tanto desde la oferta (producción) como desde la demanda (consumo), por lo cual no sería exagerado calificarle como el padre tecnológico de los mercados de electricidad. El conjunto de episodios mediante los cuales la corriente alterna desplazó en la generalidad de las aplicaciones a la continua es conocido como la «guerra de las corrientes», una de las primeras pugnas industriales que se conocen entre una tecnología emergente que lucha por triunfar y otra ya establecida que pretende evitar su condena por obsolescencia. Esa fiera pelea tuvo como antagonistas principales a Tesla por un lado (CA) y a Edison en el contrario (CC) y no hace falta recordar quién fue el vencedor en esa batalla a la cual nos referiremos más adelante, aunque quizá sea menos conocido el hecho de que ese triunfo representase en cierto modo también una especie de venganza.

Nikola Tesla nació en el año 1856 en un pueblecito llamado Smiljan, situado en la frontera militar del im-

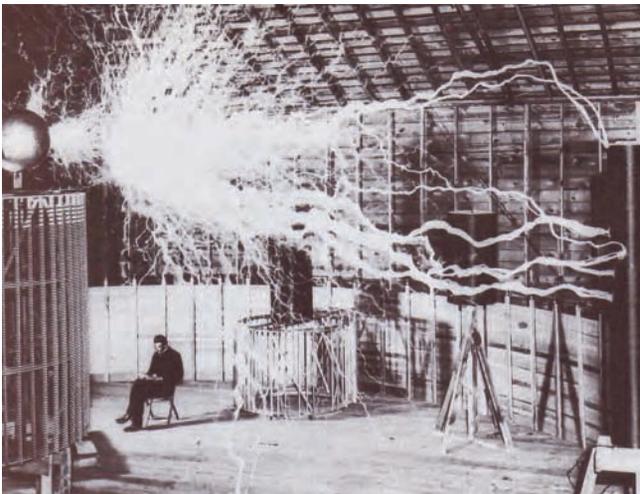
La imagen de la izquierda muestra a Thomas A. Edison a las puertas de su laboratorio industrial de Menlo Park, rodeado de varios de sus ingenieros. A la derecha se puede observar un generador de corriente continua (dinamo) como los instalados por Edison en la central eléctrica de Pearl Street en Nueva York, la primera planta comercial de generación de electricidad de la historia.



perio Austro-Húngaro dentro de un territorio que entonces formaba parte de Serbia pero ahora, tras la última partición balcánica, está situado en Croacia. Cuentan en relación con su nacimiento una anécdota que de ser cierta adquiriría un tono premonitorio, pues parece ser que la noche en que nació se estaba desarrollando una fuerte tormenta eléctrica en aquella zona. El hecho es que desde niño sorprendió por su penetrante inteligencia y tras diversos períodos formativos y trabajos de aprendizaje Tesla decidió establecerse en París donde encontró empleo como ingeniero en la Continental Edison Company haciéndose responsable de varias mejoras en los equipos eléctricos

que fabricaba esa empresa. Pero la auténtica vida profesional de este prohombre se inició en 1884 cuando tras haber fallecido su madre decide emigrar a la tierra prometida de los Estados Unidos, llegando a Nueva York en Junio de aquel año. Allí fue contratado por el mismo Thomas Edison en virtud de las cartas de recomendación tan favorables que traía de su época en París, y así es como en muy poco tiempo el joven Nikola Tesla se había convertido en uno de los ingenieros más reputados de la compañía Edison Machine Works, especializada en maquinaria para la generación de corriente continua. Las máquinas de este tipo (dinamos) ya empezaban a experimentar problemas

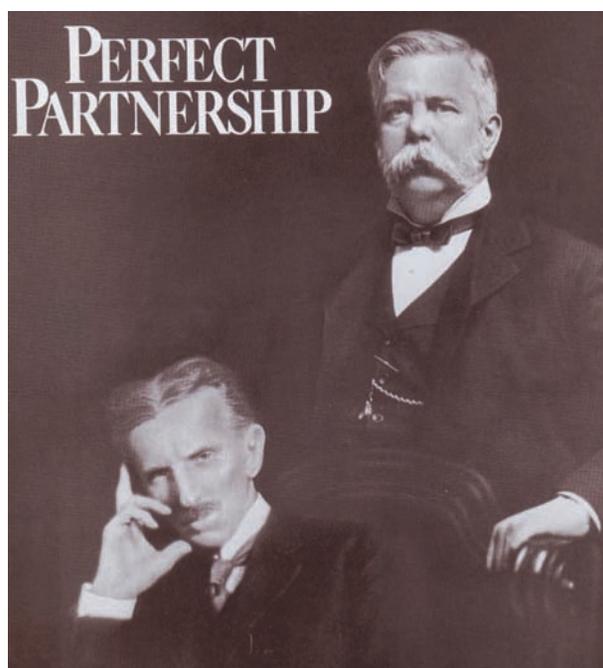
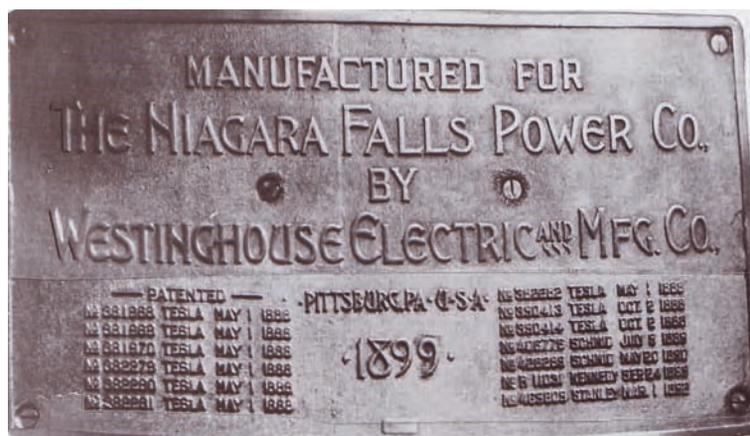
A la izquierda fotografía de Tesla trabajando en el laboratorio de corrientes a muy alta tensión de Colorado Springs. La ilustración de la derecha representa la torre construida en Wardenclyffe que sirvió de base a sus experimentos fallidos de transmisión atmosférica de energía eléctrica.



significativos en su escalado, pues al aumentar la potencia requerida de los generadores bajaban significativamente el rendimiento y la fiabilidad de los equipos. Edison se encontraba muy preocupado por aquellos hechos y encomendó a Tesla el estudio de los problemas y la búsqueda de una solución satisfactoria, prometiéndole en caso de éxito un premio de 50.000 dólares de la época (su salario semanal era entonces de 18 dólares). Tras haber trabajado denodadamente en el rediseño de la maquinaria y haber ganado varias patentes para la compañía, Tesla sufrió la afrenta de verse engañado por un Edison ruin que se negó a pagar la recompensa ofrecida, un caso lamentable pero posiblemente no muy infrecuente de explotación canalla del trabajo y del talento de un inmigrante que se encontraba desprotegido legalmente (Tesla adquirió la ciudadanía norteamericana en el año 1891, cuando ya llevaba viviendo 7 años en los EEUU).

Tras ese infamante episodio Tesla abandonó a Edison y se estableció por su cuenta, creando su propia empresa denominada Tesla Electric Light & Manufacturing donde aparte de realizar trabajos necesarios para su subsistencia siguió inventando y patentando, especialmente en torno al principio del campo magnético rotatorio que había descubierto en 1882, dando pasos que le acercaban al motor sin escobillas de corriente alterna polifásica. Alcanzó finalmente el éxito en ese empeño y en 1888 presentó el invento en el American Institute of Electrical Engineers levantando un notable interés dentro del ámbito profesional de los ingenieros. Así es como entró en contacto con otro industrial pionero en los negocios del equipamiento eléctrico, George Westinghouse, con cuya empresa Westinghouse Electric & Manufacturing Company establecida en Pittsburgh comenzó a desarrollar el excepcional serbio-americano una colaboración fructífera y de consecuencias revolucionarias. Una de las primeras víctimas del tandem Tesla-Westinghouse fue el propio Edison, el anterior rey de la electricidad, que vio como en los albores del nuevo siglo su imperio basado en sistemas de continua desaparecía en la práctica por efecto de la aceptación masiva de la corriente alterna por el mercado. Tesla se había cobrado con creces la deuda debida.

El ingeniero Nikola Tesla no sólo cosechó éxitos comerciales a partir de sus ideas y patentes sino que también se involucró en asuntos de su interés que no se vieron recompensados de la misma manera. Una



Placa de bronce situada en la central de Niagara Falls, puesta en marcha gracias a los esfuerzos combinados de Nikola Tesla y George Westinghouse.

de las cuestiones más sorprendentes fue la de la utilización de la energía eléctrica sin cables, es decir utilizando medios físicos no confinados, terrestres o aéreos, y usando para ello corrientes de gran voltaje y muy alta frecuencia. Para ello organizó un laboratorio en Colorado Springs al pie de las Montañas Rocosas en el cual condujo experimentos muy diversos, entre ellos ensayos de radiocomunicación que alcanzaban la ionosfera como capa de transmisión de la señal e incluso intentos de transportar energía eléctrica por medios inalámbricos con ondas transversales. Con este último propósito y financiación de J. Pierpont Morgan construyó en 1902 la torre de Wardenclyffe que fue un completo fracaso en su intento de transmisión atmosférica de energía eléctrica.

Algunos de estos afanes suyos, que desde luego se pueden calificar de aventurados en relación con las posibilidades reales de la técnica, derivaron en ejercicios de esoterismo que hoy día podrían situarse en el ámbito de la ciencia-ficción más que estrictamente en el dominio de la ciencia-tecnología. Una de las circunstancias más adversas por las que Tesla hubo de pasar fue la pérdida de su patente para la radio, la primera que se había concedido en los Estados Unidos en el año 1897, y que en el 1904 fue revertida a favor de Marconi. Ello le produjo una honda desazón y una larga lucha legal, a la postre infructuosa, para tratar de recuperar los derechos y la primacía perdidas. Aun así siguió trabajando en numerosos temas de investigación e inventos abriendo las puertas a posteriores desarrollos en varios campos hasta prácticamente su vejez. El gran Nikola Tesla falleció de un ataque al corazón en un hotel de Nueva York la noche del 5 al 6 de Enero de 1943, contando con la venerable edad de 86 años y un legado impresionante en lo técnico, también en lo científico y hasta en lo excéntrico.

Entre los hechos más significativos que diferenciaron la era industrial de épocas anteriores hay que considerar la alianza simbiótica que detrás de cada iniciativa de cierto calado se daba entre ciencia, ingeniería y mundo financiero. Aunque sea una verdad de las de Perogrullo no está de más recordar que sin financiación no hay empresa ni industria que se sostenga, y esa es la razón por la cual la Revolución Industrial no fue sólo una época de grandes descubridores e ingenieros sino que también forjó a importantes hombres de negocios y financieros. Tesla posiblemente no habría alcanzado el éxito que merecía con sus ideas y patentes sobre sistemas eléctricos basados en corriente alterna si no hubiese contado a su lado con un empresario de categoría como George Westinghouse, que como es fácil adivinar fue el fundador de lo que hoy es uno de los principales conglomerados industriales del mundo de la energía, la firma que lleva su nombre.

Westinghouse no se había dado a conocer de joven por actividades en el campo específico de la energía sino en el del trans-



El ingeniero suizo Charles Brown, inventor del generador polifásico y fundador junto con Walter Boveri en 1891 de la compañía Brown-Boveri.

Fotografía de Charles Steinmetz, el genio técnico detrás de la General Electric, compañía fundada por T. A. Edison y J. P. Morgan en el año 1892.



porte donde su primer logro consistió en haber inventado con 22 años el freno de aire comprimido para los ferrocarriles, resolviendo un importante problema al evitar el engorroso e inseguro frenado manual e independiente de cada vehículo, la locomotora por un lado y los vagones por otro. Así nació la primera compañía fundada por él, la Westinghouse Air Brake Company también conocida por sus siglas WABCO. En ese mismo campo de actividad continuó desarrollando ideas, inventos y patentes que dieron lugar a una segunda empresa especializada en sistemas de control del tráfico ferroviario, especialmente equipos de señalización y conmutadores de vía. El desarrollo del ferrocarril se apoyaba necesariamente en los sistemas

eléctricos de comunicaciones, esencialmente en el telégrafo y la primera telefonía, actividades que también requerían el uso de conmutadores. Fue por tanto de una manera accidental como George Westinghouse se topó con los negocios de la electricidad dándose muy pronto cuenta de las severas limitaciones que presentaba el sistema de corriente continua de Edison y buscando una posibilidad diferente y viable en la corriente alterna, entonces en vías de experimentación.

En el curso de sus pruebas y experimentos con la CA Westinghouse viajó a Europa donde adquirió varios transformadores Gaulard-Gibbs (el transformador trifásico fue un invento alemán) y algún generador Siemens, y asistido por los ingenieros Pope y Stanley instaló la primera red de corriente alterna en 1886 en la ciudad de Great Barrington, Massachusetts, generando corriente a 500 voltios y elevando esa tensión para su transporte hasta un valor de 3.000 para distribuir finalmente a los hogares a la tensión de 100 voltios. También fue capaz de desarrollar un contador razonablemente fiable y robusto para medir el consumo de este tipo de electricidad, pero no fue hasta que firmó el acuerdo con Tesla para desarrollar industrialmente las patentes de éste sobre el motor de corriente alterna cuando esta idea fructificó comercialmente y se convirtió en el estándar que aún prevalece hoy día en los Estados Unidos, que es la corriente trifásica a 110 voltios y frecuencia de 60 Hz.

La llamada «guerra de las corrientes» entre Westinghouse (CA) y Edison (CC) fue un conjunto de batallas y escaramuzas no siempre limpias sobre todo por parte de Edison que intentó sistemáticamente aunque con poco éxito convencer a las autoridades de los peligros que entrañaba el transporte en alta tensión, llegando incluso a usar demagógicamente la repulsión que causaba entre el público la silla eléctrica como medio para ejecutar la pena de muerte en el intento desesperado de salvar su negocio. Pero difícil es parar los schumpeterianos vientos de creación destructora que acompañan a una innovación tan bien fundamentada como era la de la corriente alterna, y al final Edison hubo de admitir la derrota de sus planes de generalización del uso de la electricidad en continua. Él mismo que era un hombre pragmático así lo reconoció finalmente, apoyando más tarde la creación de otro gigante empresarial del mundo de la electricidad, la General Electric, compañía creada en Schenectady en 1892 en cuya fundación también participó este viejo (y digamos que algo marrullero) inventor y sabio. En esta última compañía brilló el genio técnico de otro gran ingeniero eléctrico, Charles P. Steinmetz, pero el tren que llevaba a gloria de la historia eléctrica ya había pasado.



Retrato familiar de Enrico Fermi poco después de instalarse en los Estados Unidos (Columbia University) en el año 1938.

El físico Robert Julius Oppenheimer, director científico de las instalaciones del proyecto Manhattan que dio lugar a las primeras bombas atómicas.



(IV) La energía nuclear

En las secciones anteriores se han considerado fundamentalmente los nombres de algunos personajes sobresalientes vinculados a los tres vectores energéticos cuya dominación relativa por parte del hombre contribuyó de forma determinante a las denominadas Primera (agua y vapor) y Segunda (electricidad) Revolución Industrial. Las fuentes de energía son conceptualmente distintas de los vectores puesto que cumplen una función originadora dentro del proceso energético y no de mediación, actuando como una especie de punto de

partida. La energía se extrae de ellas generalmente en forma de calor para ser transformada y entregada a sus usos finales. Sobre el tema de las fuentes también hay mucho que decir desde el punto de vista histórico tanto en lo que se refiere al aprovechamiento de la energía que proviene del sol, que parece ser la fuente primitiva por excelencia aunque difícilmente aprovechable a escala industrial hasta la fecha, como en materia de combustibles. Dejando

de lado el carbón y los hidrocarburos líquidos y gaseosos, no por falta de interés sino porque es difícil en esos campos deslindar con claridad un pequeño número de dos o tres personalidades suficientemente representativas, nos concentraremos en la fuente que más directamente se identifica con el siglo Veinte aunque ello sea tanto para bien como para mal: la energía nuclear. ¿Instrumento del Armagedón o una fuente atmosféricamente limpia que permitirá poner coto a los anunciados males del calentamiento global?

Señalar protagonistas indiscutibles en este caso ya no es tan fácil, sobre todo desde el lado de los ingenieros porque a medida que avanzaba el siglo y especialmente a partir de la segunda guerra mundial, la profesión iba adquiriendo tonos de creciente anonimato. Salvo contadísimas excepciones los nombres propios de la ingeniería en los últimos cincuenta años corresponden a denominaciones comerciales de empresas y no a identidades de personas concretas. Así es como son los hechos, nos gusten más o menos.

Una circunstancia diferencial de la energía nuclear es la motivación principal de su desarrollo, que en sus orígenes bien sabemos que no fue precisamente el aprovechamiento civil de la misma. Sin embargo, a pesar de las no pocas explosiones de bombas atómicas que ha habido hasta la fecha (afortunadamente sólo dos de ellas en un contexto de guerra real, aunque con

decenas de miles de víctimas), la verdad es que el uso mayoritario de esta fuente de energía ha sido con fines pacíficos. En la actualidad el número de reactores en operación produciendo electricidad es según la IAEA de 435 distribuidos en 31 países (en España hay 8 vivos), generando aproximadamente el 17% de la energía eléctrica que se consume en todo el mundo. Todos ellos obedecen al principio de la fisión nuclear descubierta en 1934 en Roma por el físico Enrico Fermi, el científico que igualmente lideró con éxito el primer experimento para obtener una reacción en cadena autosostenible, lo cual sucedió en Diciembre de 1942 en la universidad de Chicago y fue el hecho que abrió las puertas de la era atómica propiamente hablando. Entre ambos años quedan un buen número de pruebas, cálculos y teorías en las cuales intervinieron aparte de Fermi y su estrecho colaborador el húngaro Leó Szilárd muchos otros científicos de altísimo nivel como Otto Hahn, Fritz Strassman, Niels Bohr o Arthur Compton.

Uno de los mejores apuntes biográficos de Fermi es la historia que escribió su propia mujer Laura en un libro titulado *Atoms in the Family. My Life with Enrico Fermi*. En él narra dos épocas bien distintas de la vida del eminente físico repartidas a lo largo de su carrera nuclear. La primera iría desde el descubrimiento de la fisión en 1934 hasta el año 1942, y en ella tuvieron lugar aparte del citado episodio romano la concesión del premio Nobel de física en 1938, el traslado a los Estados Unidos también ese mismo año donde se incorporó a la universidad de Columbia en Nueva York, y finalmente el importantísimo experimento de Chicago que se desarrolló en un reactor artesano denominado Pile-1 por la pila de uranio en la que la tuvo lugar la reacción en cadena. El reactor nuclear Chicago Pile-1 del cual se puede decir que fue con toda su provisionalidad el primero que hubo en el mundo, se hallaba situado en una pista de squash situada a espaldas de la pista de atletismo dentro de la propia universidad. Según cuenta la señora Fermi esos años fueron de mucho trabajo y determinación pero en el fondo relativamente despreocupados y felices (dentro de lo que podían ser en un mundo finalmente en guerra), aunque en honor a la verdad en la época de Chicago Fermi ya se encontraba bajo control militar. La segunda época se inicia en el momento en que el físico italiano se une al equipo que bajo las órdenes de Robert Oppenheimer desarrolló en Los Alamos la

tecnología necesaria para producir las primeras bombas atómicas en el lugar denominado Manhattan Engineering District del Army Corps of Engineers. Este campamento ultrasecreto comandado por el general Leslie Groves dio nombre el célebre «proyecto Manhattan» del cual salieron las bombas *Little Boy* (Hiroshima) y *Fat Man* (Nagasaki). La historia es suficientemente conocida y sólo cabe decir que Laura Fermi se refería a esos años de su vida con la frase «*A bodyguard and a few friends*».

Dejando de lado el tema militar hay que señalar que el uso de la energía nuclear en el mundo civil y en particular con la finalidad de generar electricidad para su venta al público tuvo su primer hito reconocido en la planta inglesa de Calder Hall en Sellafield, construida con una potencia de 50 MWe. En los Estados Unidos la primera central fue la de Shippingport en el estado de Pennsylvania, que alcanzó su potencia nominal de funcionamiento en el año 1957, suministrando electricidad a los suburbios de la ciudad de Pittsburgh. El banderazo de salida para la utilización pacífica de la energía nuclear lo había dado en 1953 el presidente Dwight Eisenhower en un discurso que pronunció en la Navidad de aquel año con el sugerente título de «*Atoms for Peace*», animando a las naciones que se encontraban entonces en poder de la tecnología atómica militar para que orientasen sus esfuerzos (aunque seguramente de manera no exclusiva) hacia el lado de las aplicaciones civiles.

La ingeniería de reactores nucleares ha sido desde sus orígenes una conjunción sofisticada y multidisciplinar de saberes, especialidades y especialistas en este tipo de tecnología que hace muy difícil señalar el nombre de unas pocas personas que realmente hayan destacado con suficiente holgura sobre una media de ingenieros y científicos con una soberbia cualificación. Por esa razón los nombres propios que afloran en este caso no son otros que los de las compañías que diseñan y suministran el equipamiento y los nombres comerciales que se da a los propios reactores según fabricantes y generaciones, lo cual no tiene mucho sentido destacar en estas notas. Sin embargo si creemos que merece la pena cerrar esta sección haciendo una referencia personal que expresa una cierta admiración hacia la excepcionalidad que en el campo de la energía nuclear sienta Francia en relación con el resto de los países de Europa (59 reactores en funcionamiento

que generan el 75% de la producción eléctrica nacional). Por esa razón se desea incluir en esta onomástica el nombre de la persona que preside el buque insignia de la industria nuclear francesa, la compañía Areva que surgió en el año 2001 a partir de la fusión de otras empresas nucleares previamente existentes, Framatome y Cogema entre otras bastante conocidas. Se trata de Anne Lauvergeon, una ingeniero(¿a?) de Minas de brillante trayectoria profesional como directivo(¿a?) en el mundo empresarial de nuestro país vecino. No es que la señora Lauvergeon se pueda comparar con ninguna de las figuras hasta aquí glosadas, eso resulta evidente, pero también es justo reconocer que su nombre representa dentro del mundo de la energía un tiempo que es el actual, cuando el protagonismo es más corporativo que humano y la épica de aquella ingeniería que sentó las bases de la Revolución Industrial nos parece que se va difuminando y los nombres que hemos citado se empiezan a asociar con viejos retratos de familia. *Sic transit gloria mundi*, como ya venía anunciado en el Kempis.

Pequeña onomástica de la energía en España

El retraso y la debilidad comparativa de la industrialización de España se pueden comprender de manera fácilmente intuitiva yendo a los antecedentes históricos de nuestro siglo Diecinueve, que empezaba a efectos prácticos tras finalizar la guerra de la Independencia, y en el cual ya desde su comienzo se dieron episodios tan profundamente contrarios a la idea de modernización como el que protagonizó el infausto borbón Fernando VII cerrando la Escuela de Caminos para abrir una de tauromaquia. El siglo acabó como es sabido con las desgracias noventayochistas y también con absurdos exabruptos de algunos conspicuos intelectuales al estilo de «¡Que inventen ellos!» o «Me cago en el vapor, la electricidad y en los sueros inyectados» que pronunciase don Miguel de Unamuno aunque hoy cueste creerlo. Es razonable pensar que tales coordenadas no son posiblemente las más propicias para que el país se atreviera a embarcarse en grandes hazañas tecnológicas a semejanza de las que ocurrían en el mundo civilizado, dando lugar a hechos por el estilo de los que se han comentado en las páginas precedentes. Mientras que otros grandes países de Europa

se situaban en el epicentro de la Revolución Industrial, la España tradicional «de letras» y «fiestas» despreciaba de manera cerril y para su propia vergüenza el valor de la ciencia y de la técnica, incluso en el sentir y obrar de muchos de sus dirigentes e intelectuales.

No es extraño que en tales circunstancias y con una tradición tan bruta, nuestra historia escrita haya ignorado en gran medida el papel que desempeñó la ingeniería en el nada fácil camino de la sociedad española hacia la modernidad. Desde la colosal Historia de España fundada en 1935 por Menéndez Pidal que con sus 42 tomos y muchos más volúmenes constituye posiblemente el compendio general más habitual de referencia, hasta obras más circunscritas temporalmente a esa época como por ejemplo las de los hispanistas aglutinados en París en torno a Carlos Serrano y Serge Salaün en la asociación *Pour une Histoire Culturelle de l'Espagne Contemporaine*, la ingeniería aparece diluida en un contexto general económico que se explica normalmente al margen de ella misma. Cuando aparece algún ingeniero, en general muy pocos, lo hace más por su vinculación con la escuálida ciencia de la época (Torres Quevedo, Echegaray, Terradas) que por la relevancia de su legado material para la transformación del país. No se puede ignorar que la modernidad es un fenómeno poliédrico y complejo de explicar en el que confluyen no sólo circunstancias materiales sino de otra índole que podríamos llamar superestructural, pero ello no significa que se aminore tanto en su interpretación el hecho indudable de que las obras de los ingenieros, las infraestructuras y el equipamiento productivo, constituyen las necesarias raíces de la modernidad. Condición necesaria, aunque seguramente no suficiente.

España era a principios del siglo Veinte uno de los países más atrasados de la Europa occidental, anclado salvo excepciones en una estructura arcaica en lo social y en lo económico y con diferencias muy significativas en cuanto a la extensión de la industria y de la urbanización al compararse con Francia, Inglaterra o Alemania. Las razones fueron múltiples y el retardo de la industrialización en España ha sido objeto de muchos estudios y controversias por parte de los historiadores de la economía nacional. Hay sin embargo tres hechos importantes que se deben tener en cuenta, aunque no sean los únicos que pesan. En primer lugar el raquitismo del capita-

lismo español, vinculado en gran medida aún a la nobleza y con una profunda aversión al riesgo, a lo cual acompañaba un modelo de organización jurídico-administrativa ineficiente y muy poco ágil para el desarrollo de los negocios de esa naturaleza. Téngase en cuenta que por ejemplo para la financiación del desarrollo ferroviario o de la minería hubo de acudir al capital extranjero durante una buena parte del siglo Diecinueve. Por otra parte, el país contaba con un sistema de ciencia-tecnología en general muy poco desarrollado que era especialmente endeble en lo académico y científico, aunque se compensaba de alguna manera (insuficiente de todas formas) en la parte de la técnica debido a las Escuelas especiales de ingenieros: Caminos, Minas e Industriales, esencialmente. Finalmente la política económica se encontraba viciada por lacras como el caciquismo y el clientelismo político y se preocupó más desde el punto de vista industrial de proteger por la vía arancelaria y con otras trabas al libre mercado los privilegios del textil catalán y de la siderurgia vascongada que de tener la altura de miras suficiente para desarrollar industrialmente al conjunto del país. No puede extrañarnos que en esas circunstancias la economía española fuera considerada de segundo rango, hecho que sancionan datos objetivos como el producto per capita que en nuestro país era hacia el año 1915 un 55% del de Francia, un 47% del de Inglaterra o un 30% del de los Estados Unidos, con la circunstancia añadida de que la participación de la industria en la renta nacional no superaba el 25% de la producción total de bienes y servicios.

En lo que se refiere a la energía se puede recordar que la implantación de la electricidad en España comenzó a través del alumbrado de las grandes ciudades, especialmente Madrid, Barcelona, Valencia y Bilbao que incorporaron esta novedad en torno a la última década del siglo Diecinueve. Las primeras empresas eléctricas de nuestro país se encontraban por tanto vinculadas al servicio de alumbrado, pudiendo recordarse que antes de que expirase el siglo ya había tenido lugar la creación de la *Sociedad Española de Electricidad* (Barcelona, 1881) fundada por los Dalmau padre e hijo, la *Compañía*



Carlos Mendoza, ingeniero de Caminos y emprendedor de importantes iniciativas en los campos de la generación de energía eléctrica (Mengemor) y sus usos (Compañía del Ferrocarril Metropolitano de Madrid).

General de Electricidad, Fuerza y Luz Eléctrica (Madrid, 1882), la *Compañía General Madrileña de Electricidad* (Madrid, 1889) que era una filial de la empresa alemana A.E.G. y la *Compañía Sevillana de Electricidad* (Sevilla, 1894) entre otras menos conocidas. Según la primera estadística elaborada por el sector eléctrico, en el año 1901 existían en España 861 centrales con una potencia total instalada de unos 78 MWe, de las cuales más de la mitad producían corriente continua, dedicándose aproximadamente el 80% de la energía producida aquel año al alumbrado. El 60% de la generación era de origen térmico y el 40% restante hidráulico, y la potencia media por centro de generación se situaba entonces alrededor de 90 kWe que en aquellos años

no era realmente un tamaño tan pequeño como nos puede parecer hoy.

El auténtico salto cuántico para el impulso de la electricidad en nuestro país fue básicamente el mismo que se ha comentado anteriormente en relación con lo que sucedió en los EEUU: la aparición de la corriente alterna trifásica, que debido a su facilidad de transporte a larga distancia permitía separar centenares de kilómetros la producción y el consumo incentivando así las economías de escala en las centrales. Ello era especialmente posible en la generación hidráulica siempre y cuando se pudiesen conseguir grandes alturas en los saltos de agua, y precisamente así fue como el negocio eléctrico tuvo la fortuna de encontrarse en España con un cuerpo profesional magníficamente preparado y bien dispuesto para acometer esa empresa nada fácil. En ello influyeron el desarrollo de los conocimientos científico-técnicos sobre el material de construcción por excelencia en este tipo de obras, el hormigón, y los avances en los métodos de cálculo de estructuras complejas y a gran escala que en aquellos años abandonaron la opacidad de la heurística para adentrarse en las formulaciones analíticas de mucho mayor rigor y consistencia. Esta «pequeña onomástica» de la energía va por tanto dedicada a los ingenieros hidráulicos, en especial a los del ramo de Caminos, Canales y Puertos, que hicieron posible en unas pocas décadas el formidable despegue del desarrollo eléctrico de nuestra patria

con sus espléndidas obras. Ingenieros que no sólo actuaron como proyectistas y constructores de los saltos sino también en muchos casos como capitales de empresa, creando las compañías eléctricas que tras una exitosa evolución en el tiempo han dado lugar a la sólida industria que hoy conocemos.

Los primeros ingenieros-empresarios de la hidroelectricidad en España

Si hubiese que mencionar exclusivamente dos o tres nombres de ingenieros-empresarios en el período que va desde el origen hasta la primera consolidación del negocio eléctrico industrial en España, intervalo de tiempo que recorre las tres primeras décadas del siglo Veinte, no habría duda de que éstos serían los de Juan de Urrutia y Carlos Mendoza, a los cuales habría que unir el de José Orbegozo. Ello sería por otra parte una injusticia porque llevaría a ignorar a un buen número de personajes también extraordinarios que rodearon a los anteriores y trabajaron estrechamente con ellos, compartiendo afanes y riesgos, en resumen aquel *estado de espíritu* que resume la emoción que vivían los hidroeléctricos de esa primera época. Nombres muy ilustres como los de Antonio González Echarte, Alfredo Moreno, Eugenio Grasset, Ricardo Rubio, Manuel Echanove o Pedro Martínez Artola estarían dentro de una lista de varias decenas de ingenieros de Caminos que atraídos por la importancia de esta industria para el desarrollo del país y movidos obviamente por un sano ánimo de lucro personal y deseo de triunfo, dedicaron una buena parte de su vida profesional y de su patrimonio al desarrollo del sector eléctrico.

Una faceta muy interesante que concurre en buena parte de los citados es su doble condición, la técnica y la económica, el haber sido al mismo tiempo ingenieros y empresarios y buenos en ambos tipos de actividad. Hecho que debería estudiarse con atención porque tal vez permitiese extraer conclusiones nada triviales sobre la importancia que tienen las fronteras disciplinares y los riesgos para el avance de las profesiones, más que la insistencia en los núcleos tradicionales y los negocios consolidados, y también sobre lo bueno que puede ser en ocasiones salir de la Escuela con el título a estrenar en circunstancias no demasiado boyantes para conseguir un puesto en la obra pública convencio-

nal. Al margen de esta consideración y ya que se está haciendo referencia a la dimensión financiera de las actividades que dieron nacimiento al sector, justo es reconocer que el desarrollo hidroeléctrico debe asociarse también en España a los nombres de los bancos y en especial a los de Vizcaya y Bilbao que destacaron en el conjunto de la banca nacional en lo que fue la fundación y la consolidación de las grandes empresas hidroeléctricas. Reunía de esa manera el sector en sus orígenes a principios de siglo tres elementos clave para el éxito de los negocios: espíritu emprendedor, pericia técnica y solvencia financiera para acometer las importantísimas inversiones necesarias, seguramente las más cuantiosas de la economía nacional en esa época.

El despertar de la industrialización eléctrica en España en esas primeras décadas del siglo Veinte se organizó esencialmente en torno a tres núcleos empresariales que en buena medida fueron dando tono al arranque y consolidación del sector. Cada empresa además estuvo profundamente vinculada durante aquellos años de riesgo y pasión a los nombres de quienes fueron sus fundadores y alma motriz, sin cuya acción decisiva los acontecimientos hubieran tomado seguramente un curso diferente. Hablar de *Hidroeléctrica Ibérica* es hacerlo de Juan de Urrutia, igual que mencionar a Mengemor supone traer al recuerdo los nombres de los ingenieros Carlos Mendoza, Antonio González Echarte y Alfredo Moreno, y cómo no, si se habla de la *Sociedad Hispano-Portuguesa de Transportes Eléctricos (Saltos del Duero)* no hay manera alguna de hacerlo sin nombrar a José Orbegozo, padre que fue tanto de la idea gozosa como de su afanosa transformación en una rentabilísima realidad años más tarde.

El ingeniero Juan de Urrutia fue junto con Eduardo Aznar y el Banco de Vizcaya como socio capitalista el fundador y primer director general de Hidroeléctrica Ibérica, compañía establecida en Bilbao en el año 1901 con un capital social de 20 millones con el fin de explotar unas concesiones adquiridas en el Ebro. Acompañaron a Urrutia como promotores e impulsores de la sociedad otros tres ingenieros, Antonio Guinea, Antonio Orovio y José Echevarría. Hidroeléctrica Ibérica acumuló en sus primeros años de existencia un buen número de derechos concesionales, no sólo en el Ebro sino también en los ríos Júcar, Segura y Tajo, en este último con la finalidad de penetrar comercialmente en el negocio del abaste-

cimiento de electricidad a la capital. El gran número de explotaciones a desarrollar se vio que era difícilmente compatible con las posibilidades de financiación de la compañía, por lo cual tras negociar con los financieros José Luis Oriol y Lucas Urquijo se convino en crear una nueva sociedad en participación, Hidroeléctrica Española, fundada en Madrid en 1907 precisamente con el objetivo de explotar las concesiones en el Júcar y en Tajo construyendo los saltos correspondientes. En la nueva sociedad participaba Hidroeléctrica Ibérica con un 44% de las acciones.

Fue también en esos años cuando Carlos Mendoza, Antonio González Echarte y Alfredo Moreno constituyeron la sociedad Mengemor, concretamente en 1904, con el fin de estudiar el aprovechamiento hidroeléctrico de los ríos andaluces. Mengemor tras obtener las autorizaciones necesarias se hizo fuerte en la producción de electricidad en el sur de la península, especialmente explotando los ríos Guadalimar y Guadalquivir con tanto éxito que logró superar en producción en pocos años a la propia Compañía Sevillana de Electricidad que había sido creada bastante antes, en 1884. Ambas sociedades acabarían fusionándose en el año 1951.

La Sociedad Hispano-Portuguesa de Transportes Eléctricos (Saltos del Duero) se constituyó formalmente en el año 1918 a iniciativa de José Orbeagozo, que había ingresado el año anterior en la Sociedad General de Transportes Eléctricos compañía creada en 1906 también con participación de la Hidroeléctrica Ibérica. Orbeagozo se dio cuenta del enorme potencial que se concentraba en el tramo internacional del Duero y de la importancia que tenía integrar y explotar de forma conjunta y coordinada todas los saltos que sobre él se fueran a establecer. Animó por tanto la creación de la nueva sociedad para acometer tal fin, estudiando detalladamente las particularidades de esa explotación, su regulación y los emplazamientos idóneos para llevarlo todo a cabo. Saltos del Duero se vio obligada no obstante a esperar casi 10 años a partir de su creación debido al estancamiento del contencioso que ha-



Rafael Benjumea, conde de Guadalhorce, ingeniero, emprendedor hidráulico y extraordinario Ministro de Obras Públicas.

bía surgido con Portugal con motivo de las pretensiones de la empresa española para aprovechar el tramo internacional del río, resolviéndose finalmente en 1927 el problema de las concesiones en las partes portuguesas y dando de esa manera comienzo a la que ha sido sin duda la gesta más admirable de la industrialización eléctrica en España, una serie de episodios llenos de determinación, valor e inteligencia que reclamaron la atención del mundo entero. Las sociedades Hidroeléctrica Ibérica y Saltos del Duero se fusionaron en el año 1944 dando lugar a Iberduero.

Aunque se ha hecho mención en algún párrafo anterior al papel desempeñado por el Banco de Vizcaya en todo lo anterior, no está de más ilustrar con cifras la preponderancia financiera que esa entidad llegó a alcanzar en el sector.

En 1962, con el sector eléctrico ya asentado al menos en una primera configuración, el banco estaba situado con un 5% en el capital de Electra de Viesgo, un 7% de Sevillana, el 13% de Hidroeléctrica Española y el 21% de Iberduero, más otras participaciones en sociedades como Saltos del Sil, Unión Eléctrica Madrileña y Eléctricas Reunidas de Zaragoza. En la parte financiera de esta «pequeña onomástica» justo es por tanto incluir nombres como los de Enrique Ocharán o Fernando Ybarra aunque ellos no fuesen ingenieros de Caminos.

Pero volvamos a hablar de los tres ingenieros mencionados al comienzo de esta sección, ahora uno por uno. De Juan de Urrutia se sabe que además de fundar y haber dirigido Hidroeléctrica Ibérica cumplió una fecunda trayectoria empresarial en el sector eléctrico, habiendo sido igualmente el promotor y cofundador de la otra gran Hidroeléctrica, Hidrola, con los financieros Urquijo y Oriol. Merece la pena que se recuerde la razón por la cual un joven ingeniero de Caminos que iniciaba su carrera profesional a finales del siglo Diecinueve acabó convertido en una gran empresario eléctrico en lugar de haber sido un funcionario del Estado prestando su servicio en el Cuerpo que le correspondía. Esta circunstancia, el alejamiento voluntario de la función pública y su orientación hacia el empresariado la com-

partió Urrutia con otros ilustres compañeros de su época, en particular con personalidades tan conocidas como Nicolás de Urgoiti o Serapio Huici. Unas de las razones que explican el rumbo relativamente excéntrico de estos ilustres ingenieros es el hecho de que en la época que realizaron sus estudios el ingreso en la Escuela de Caminos se realizaba a partir de unos cursos previos que se impartían en una Escuela Politécnica común a todos los aspirantes a los diversos cuerpos, y una vez superados aquéllos los alumnos elegían en función de su puesto en el escalafón la Escuela Especial en la cual deseaban proseguir su formación. Era una transposición a España del modelo francés de *l'École Polytechnique* y una de sus consecuencias más inmediatas era que durante los años en que ese modelo estuvo en vigor ingresaron en Caminos un número de alumnos en general superior al de vacantes previstas por el Ministerio para ser cubiertas por las promociones egresadas y ejercer los puestos estatales en las Jefaturas de Obras Públicas. A los ingenieros recién salidos de la Escuela se les planteaban dos opciones, o la espera de vacante en el Cuerpo, lo que podía suponer meses o incluso algún año de espera, o buscar trabajo por otros caminos bien ejerciendo por su cuenta o ejerciendo empleos en la industria. Urgoiti como es sabido eligió la dirección de la Papelera del Cadagua, iniciando de ese modo una carrera empresarial extraordinaria en el mundo de la industria del papel y de los medios de comunicación. Juan de Urrutia se decantó al finalizar sus estudios por dirigir la Compañía Eléctrica de San Sebastián tras haber proyectado varios aprovechamientos hidráulicos en las provincias de Álava y Guipúzcoa. Las consecuencias de su excentricidad profesional, igual que sucedió en el caso de Urgoiti, fueron de una gran trascendencia para el desarrollo del sector que le había atraído.

El nombre de Carlos Mendoza no sólo se encuentra históricamente vinculado a la producción hidroeléctrica a través de Mengemor, sino que también nos lo encontramos en actividades empresariales relacionadas con las aplicaciones finales de esta nueva forma de energía, especialmente en el cam-

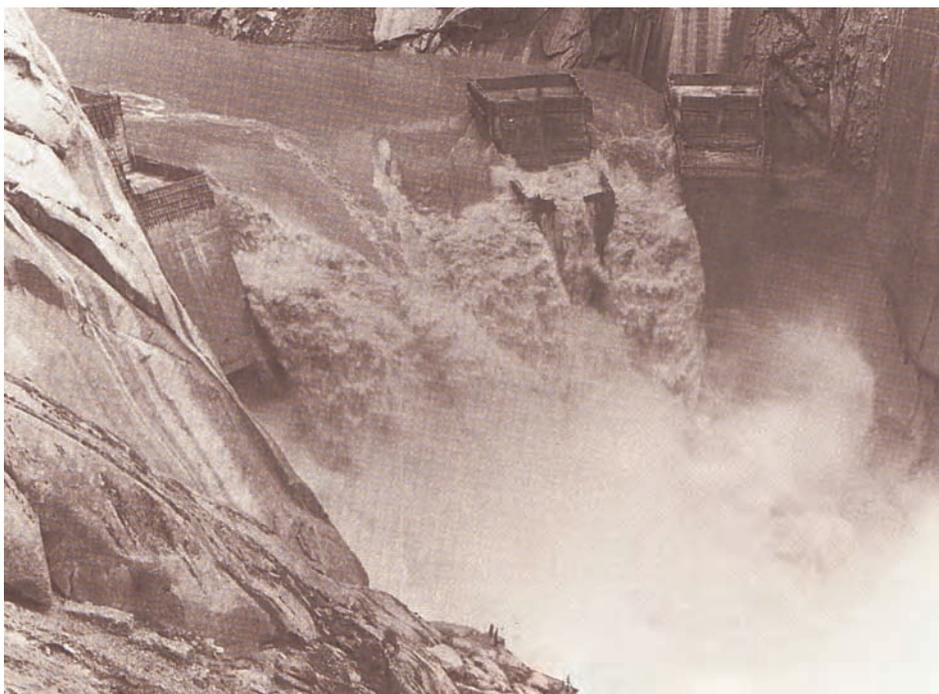


Fotografía de José Orbegozo en las obras del Duero.

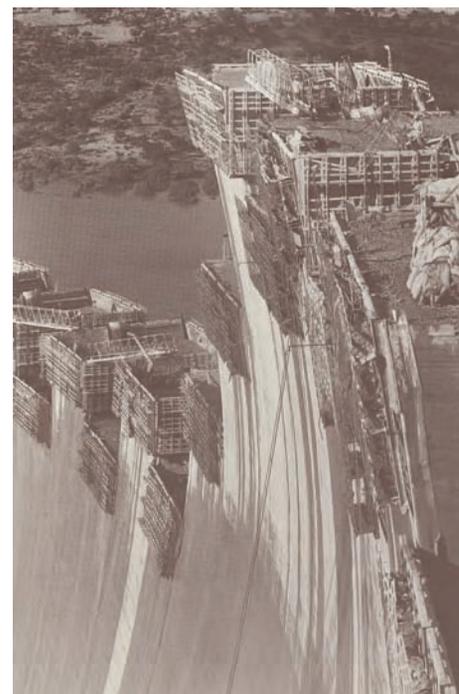
po del transporte urbano. Mendoza junto con su socio en Mengemor González Echarte que según parece era quien en realidad sabía de electricidad, fueron también los fundadores de la Compañía del Ferrocarril Metropolitano de Madrid, el Metro, que se constituyó en el año 1917 teniendo como tercer promotor a otro ingeniero conocido, Miguel de Otamendi. La solvencia de sus iniciativas empresariales estaba tan fuera de duda que en esta empresa igualmente pionera y sujeta a un doble riesgo, primero el de la construcción subterránea nada desdeñable en aquellos años y por otra parte el comercial debido a la incertidumbre sobre la demanda, los tres promotores consiguieron atraer como socio nada menos que al rey Alfonso XIII. El Metro de

Madrid se inauguró en 1919 siendo en aquel momento el tercero que entraba en funcionamiento en Europa después de los de Londres y París y constituyendo un nuevo motivo de gloria para la ingeniería española que también en este caso brillaba muy por encima de la ciencia en nuestro país.

La empresa eléctrica Mengemor creada por Mendoza y sus compañeros socios también está relacionada de forma indirecta a través de Sevillana con un personaje eminente de la época, el ingeniero hidráulico malagueño Rafael Benjumea, fundador en 1903 junto con Francisco Silvela y Jorge Loring, que era a la vez cuñado del anterior y suegro del primero, de la Sociedad Hidroeléctrica del Chorro. Aunque la explotación del salto de Chorro llevaba en funcionamiento desde el año 1905, Benjumea que más tarde fue honrado por el rey con el título de conde de Guadalhorce y ejerció como activísimo ministro de Fomento en los años de la «dictablanda» de Primo de Rivera, tuvo que utilizar su influencia para que la Administración decidiese construir años más tarde el embalse conocido como Pantano del Chorro que permitió entre otros loables fines regularizar los caudales aleatorios del río Guadalhorce y con ello los ingresos de la compañía consiguiendo que entrase definitivamente por la senda de la rentabilidad económica. La hidroeléctrica de la familia Benjumea pasaría a integrarse más



Episodios en la gesta de los saltos del Duero. A la izquierda avenida sobre la presa de Aldeadávila en construcción, y a la derecha hormigonado de la bóveda de Almendra.



adelante en la Compañía Sevillana de Electricidad mediante una fusión de empresas llevada a cabo en 1967, igual que Mengemor ya lo había hecho unos años antes en 1951.

Carlos Mendoza junto con Alfredo Moreno ya habían desarrollado actividades profesionales en el campo de la hidroelectricidad antes de crear Mengemor siendo su primer encargo conocido la central de Navallar en el río Manzanares, cuyo propietario el marqués de Santillana dio más tarde su nombre a ese conocido embalse al norte de Madrid. Con la empresa creada entre ellos dos y González Echarte desarrollaron numerosos saltos construyendo explotaciones hidroeléctricas importantes como la del Vado de las Ollas sobre el río Guadalimar, y las de Olvera, Carpio y Jándula entre otras. Hombre visionario además de ingeniero y empresario pragmático, Mendoza enfocó su interés en los últimos años de su vida en proyectos a muy gran escala que no tuvieron que ver con la energía eléctrica y no llegaron a cuajar, entre ellos un curioso túnel sumergido a profundidad variable que él se había entretenido en concebir para facilitar el cruce del estrecho de Gibraltar. A Carlos Mendoza le sucedió al frente de los negocios su hijo de igual nombre que fue presidente de Sevilla y también de la patronal UNESA. Pero de ese otro Mendoza y de la segunda generación de ingenieros-

empresarios del sector eléctrico hablaremos más tarde.

La historia de José Orbegozo, el tercero de los personajes elegidos para glosar esta época inicial de la hidroelectricidad industrial, es la historia de los saltos del Duero, de sus estudios, de sus negociaciones y de la construcción azarosa y repleta de dificultades de las primeras presas, derivaciones y centrales. En esa misión Orbegozo fue la cabeza de muchos, pues dicen que por el Duero desde principios de siglo y hasta la finalización de las obras en 1970 pasaron más de 25.000 personas entre ingenieros, cuadros técnicos y obreros, cambiando para siempre la vida de esas comarcas de las provincias de Zamora y Salamanca, las tierras inhóspitas de Aliste y Sayago que separan España y Portugal. Orbegozo llegó al Duero en el año 1917, once años después de que hubiese creado la Sociedad General de Transportes Eléctricos a la que él había sido convocado para dirigirla, una empresa prácticamente inoperante hasta esa fecha debido al problema con las autoridades portuguesas. Entre su ingreso en la compañía y el año 1929 en que dieron comienzo las obras del salto del Esla en Ricobayo, nuestro enérgico (por partida doble) ingeniero había estudiado con profundidad el aprovechamiento integral del tramo internacional del río, trabajó fortaleciendo financieramente a la empresa mediante la

creación del Consorcio Saltos del Duero (con el músculo económico del Banco de Bilbao y otras aportaciones de Horacio Echevarrieta), negoció y finalmente logró convencer, quizá forzando, al gobierno de Portugal de las ventajas que suponía para ambos países, y cómo no, redactó el proyecto del Esla organizando el equipo humano capaz de llevarlo a cabo sin experiencia previa en obras de tal magnitud.

Orbegozo se había incorporado al Duero con 47 años de edad y una experiencia y reputación más que notables. Estudiando el aprovechamiento hidroeléctrico del tramo como sistema y no como un conjunto de saltos independientes se dio cuenta de la importancia de establecer una regulación en cabecera que resolviese razonablemente los acusados problemas de irregularidad de caudales, con unos estiajes submétricos y unas avenidas en épocas de lluvias y deshielo que podían alcanzar miles de metros cúbicos por segundo. Los embalses reguladores necesarios sólo podían construirse en territorio español, en los ríos Esla y Tormes, argumento que unido a la presentación de un proyecto alternativo de desvío del río (la llamada «solución Ugarte») que permitía hacer el aprovechamiento enteramente dentro de España sin utilizar el cañón compartido fueron argumentos que nuestro hombre supo utilizar convincentemente en la resolución definitiva del litigio con los portugueses. La conclusión del asunto y el subsiguiente tratado que se firmó establecieron un importantísimo precedente que ha servido de inspiración para solucionar muchos otros problemas de explotación conjunta entre países diferentes.

En honor a la verdad la oposición al proyecto de aprovechamiento hidroeléctrico del Duero no venía exclusivamente del otro lado de la frontera sino que también dentro de España algunas empresas eléctricas establecidas mostraban una gran preocupación por su impacto en el mercado y trataban de promover desconfianza hacia el mismo. Téngase en cuenta que en el año 1930 el consumo nacional de electricidad se situaba en torno a 3.000 GWh y los cálculos sobre la producción que se incorporaría



Ingenieros en Saucelle, entre ellos Clemente Sáenz y Luis Olaguibel.

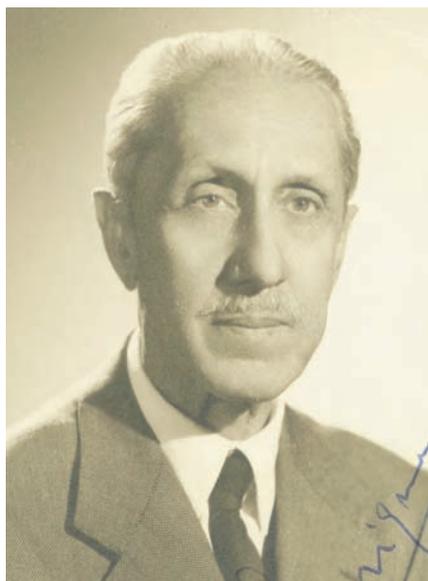
desde el Duero una vez finalizadas las obras arrojaban la cifra de unos 10.000 GWh adicionales, es decir triplicaban el tamaño del mercado. Pero el Duero se hizo finalmente realidad tras vencerse todos los impedimentos que habían aflorado en ambos países.

La primera gran obra del sistema fue la presa de Ricobayo que con 99 m. de altura de coronación embalsaba un volumen casi el doble que el del pantano del Ebro en Reinosa, que era el mayor

de España hasta esa fecha (la longitud de Ricobayo entre presa y cola es de 90 Km). La obra era compleja técnicamente y se debía abordar con escasa experiencia, lo cual dio pie a las pretensiones del cuarto socio que se había incorporado al proyecto, la International General Electric, de tutelar técnicamente la construcción e imponer a ingenieros suyos o de su confianza, pero la determinación de José Orbegozo consiguió que el Consejo de Administración admitiese sus criterios y el control de la ingeniería de esta primera presa permaneció enteramente en manos españolas. Así empezó la forjarse la excepcional escuela de ingenieros hidroeléctricos que fueron los Saltos del Duero durante los cuarenta y un años que van desde el comienzo de la construcción de Ricobayo (1929) hasta la conclusión de la presa y de la central de Almendra-Villarino.

El hormigonado de la presa de Ricobayo se finalizó en Noviembre de 1933 y en Enero del año 1935 ya se pudo efectuar el primer suministro eléctrico del Esla a Bilbao. En Junio de 1936, casi coincidiendo con el estallido de la guerra civil, se probaron a plena carga los tres grupos generadores instalados en la central del primero de los seis saltos que finalmente constituirían la explotación integral del tramo internacional del Duero, siguiendo al del Esla los de Villalcampo (1949), Castro (1953), Saucelle (1956), Aldeadávila (1962) y Almendra (1970). José Orbegozo falleció en el año 1939 y no pudo más que llegar a ver el inicio de la materialización de sus ideas ni tampoco la creación de la compañía Iberduero por fusión de Saltos del Duero e Hidroeléctrica Ibérica.

En la epopeya que Orbegozo inició confluieron tres generaciones de ingenieros llenas de apellidos ilustres: Martínez Arto-la, Echanove, del Campo, Olaguíbel, Rubio, Guinea, Mendaña, Ugalde y muchos otros, también de ramas diferentes de la ingeniería no sólo de Caminos, Canales y Puertos. No es posible recoger en estas notas ni siguiera una pequeña muestra de quienes participaron en tan magna obra pero ello no obsta para que a pesar de su forzoso anonimato se reconozca expresamente el derecho de todas esas personas a figurar por mérito propio en esta «pequeña onomástica» bajo el nombre colectivo de los hombres del Duero.



Enrique Becerril, catedrático y fundador del Laboratorio de Hidráulica de la Escuela de Caminos. Fue Director Técnico del Banco Urquijo y al mismo tiempo consejero de las sociedades Unión Eléctrica Madrileña, Fenosa, Sevillana de Electricidad e Hidroeléctrica de Cataluña entre otras.

La madurez del sector: de emprendedores a ejecutivos

Decíamos antes que Orbegozo no llegó a ver la constitución de Iberduero, la primera gran fusión empresarial que marcó el camino hacia la concentración dentro del sector en el año 1944, ni tampoco pudo conocer UNESA la patronal eléctrica que fue creada también en ese mismo año. Lo cierto es que pasados los primeros tiempos heroicos y tras el lapso de la guerra civil y de la inmediata postguerra los negocios eléctricos en España empezaron a tomar un rumbo hacia la madurez, escribiendo el término «madurez» entre comillas por las razones que veremos. Los ingenieros más notables de esta segunda época que se puede decir que se prolonga hasta la actualidad, ya no fueron emprendedores y pioneros sino esencialmente directivos y gestores de las grandes empresas del sector. Con alguna feliz excepción, claro está.

Los años que van desde aproximadamente mediados de siglo hasta el presente son testigo de la paulatina consolidación y concentración del sector eléctrico, hecho que coincide con cambios importantes de la sociedad española que se hace progresivamente menos pobre (o más rica, según se prefiera) y crece también en capital humano y en la fortaleza de sus empresas. El capitalismo nacional que fue bastante endeble hasta bien pasada la postguerra empieza también a transformarse y de esa

manera se da un impulso significativo a la profesionalización en la dirección de los negocios, separándose poco a poco propiedad y gestión. La primera escuela de administración de empresas fundada en España, el IESE, comienza su andadura en el año 1958 constituyéndose en la iniciativa pionera a escala nacional que toma como modelo la prestigiosa escuela norteamericana de la universidad de Harvard (Harvard Business School) sentando las bases de la educación de ejecutivos en nuestro país.

La banca jugó una vez más un papel decisivo en la capitalización del sector eléctrico y en su transformación empresarial. Para ello contó con el sabio asesoramiento de ingenieros muy valiosos

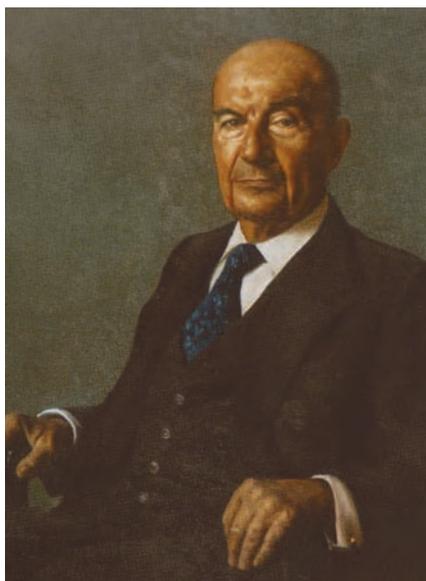
como por ejemplo Enrique Becerril, quien desde la dirección del Banco Urquijo desarrolló una fecunda labor de aliento financiero a múltiples iniciativas industriales relacionadas con los negocios energéticos. Becerril había sido el fundador y primer director de Laboratorio de Hidráulica de la Escuela de Ingenieros de Caminos, más tarde integrado en el Centro de Estudios Hidrográficos del Ministerio de Obras Públicas, y combinó su desempeño académico en la cátedra con el ejercicio de puestos directivos de primera importancia en varias empresas eléctricas, habiendo sido consejero de Unión Eléctrica Madrileña, Fenosa, Sevillana de Electricidad, Hidroeléctrica de Cataluña y Eléctrica Hispano-Marroquí. De la mano de Enrique Becerril llegó al sector uno de los ingenieros directivos más sobresalientes durante esta época de maduración empresarial del mundo de la energía que traemos a estas páginas, Pedro Durán Farrell, de quien con toda justicia se puede decir que ha sido el padre de la moderna industria gasista española. Durán Farrell fue un ingeniero de Caminos muy curioso en su personalidad y dotado al mismo tiempo de una gran curiosidad en materia energética, cuyo nombre permanece indeleblemente asociado a las empresas Catalana de Gas y especialmente a Grupo Gas Natural S.D.G., compañía en la cual confluieron en 1991 la anterior junto con Gas Madrid (ambas presididas por él mismo) y una parte de los activos de Repsol. Vinculado profesionalmente en sus orígenes al sector hidroeléctrico (no podía ser de otra manera) en representa-

ción del banco Urquijo, ya desde joven se preocupaba por los problemas de mayor calado que afectan a esta forma de generación y en particular por las consecuencias de la estacionalidad y de la irregular la pluviometría sobre el producible hidráulico en España. Así fue como se involucró en iniciativas que tal vez hoy nos parezcan peregrinas como la investigación de métodos para controlar las perturbaciones atmosféricas y provocar la lluvia artificial, pero que en el fondo denotaban la gran predisposición a buscar soluciones y fuentes energéticas nuevas por parte de este singular ingeniero que nunca se mostró timorato a la hora de afrontar problemas y acciones de gran calado.

Bien merecidamente ha quedado unido su nombre al de una de las infraestructuras más emblemáticas del negocio del gas natural, el gasoducto Magreb-Europa llamado Pedro Durán Farrell en nombre del recuerdo de tan ilustre personaje.

La industria del gas natural como fuente significativa de energía en España, aunque hunde sus raíces en el comienzo de la década de los Sesenta, se puede decir que se configura de manera parecida a como hoy la conocemos a través de una serie de hitos que empiezan en el año 1969 al iniciar sus operaciones en el puerto de Barcelona la planta de regasificación de Gas Natural, empresa fundada cuatro años antes por Catalana junto con la norteamericana Exxon y algunos bancos nacionales. La cronología pasa por 1972 fecha de la creación de la compañía transportista Enagas (adquirida más tarde por la anterior) para desembocar más tarde en el acuerdo de desarrollo público-privado denominado el «protocolo del gas», que se firmó por parte del Ministerio de Industria y Energía y las empresas del sector en Julio de 1985 marcando un punto sin retorno en el creciente protagonismo del gas natural en el mix energético de nuestro país que fueron dibujando los Planes Energéticos Nacionales de 1983 y 1991.

El protagonismo de Durán Farrell en el sector se remonta al año 1960 en que



Julián Trincado, uno de los artífices de la modernización del sector eléctrico español y primer ejecutivo de Unión-Fenosa entre 1983 y 1993.

había viajado a Argelia por primera vez como delegado español de ASSEMI, la Asociación Euro-Africana Minera e Industrial creada para promover desde Europa el desarrollo de infraestructuras en los países colonizados. En ese viaje afloran en nuestro ingeniero un sentimiento de admiración por el desierto y la idea menos espiritual de transportar el gas natural desde los yacimientos argelinos hasta el otro lado del mar Mediterráneo. Ello se convierte en realidad cuando en 1975 se firma el acuerdo entre Enagas y la argelina Sonatrach para el suministro anual de 45.000 Mte mediante un contrato sujeto a la modalidad take or pay, consolidando a esa empresa española como mayorista y empresa operadora de infraestructuras del transporte de gas natural en España.

Pedro Durán Farrell fue también un hombre singular y muy interesante en su faceta personal, con unos gustos en cierta medida marcados por aquella primera impresión tan honda que le causó el desierto argelino. Una de sus aficiones conocidas fue la arqueología a la cual se dedicó con fruición en su tiempo libre, habiendo participado en numerosas excavaciones entre las cuales habría que destacar aquella en la que se descubrió el busto conocido como la «dama de Baza» que se conserva junto con la más conocida figura de la «dama de Elche» en el Museo Arqueológico Nacional.

Otra personalidad que bien merece destacarse es la del ingeniero valenciano Julián Trincado, quien tras graduarse en la escuela de Caminos ejerció los primeros años de su profesión inicialmente en Saltos del Sil y seguidamente como director y presidente de la compañía Eléctricas Leonesas (ELSA). Tras fusionarse esta última sociedad con Unión Eléctrica en 1970 pasó a desarrollar por breve tiempo la dirección de los trabajos de investigación sobre maquinaria hidroeléctrica y explotación conjunta de sistemas hidro y termoeléctricos en ASINEL, asociación científico-técnica perteneciente a UNESA.

Julián Trincado fue nombrado más tarde director general y consejero-dele-



Manuel Gómez de Pablos, que fue Director General de Obras Hidráulicas, Presidente de Iberduero y de Unesa, la patronal del sector eléctrico.

gado de FENOSA y tras fusionarse ésta con Unión Eléctrica ocupó el cargo de consejero-delegado de la empresa resultante, ejerciendo su presidencia entre los años 1983 y 1993. A lo largo de esa década acometió importantes inversiones en generación, en particular construyendo los grupos térmicos de La Robla II y Narcea III, así como la central nuclear de Trillo. Fue impulsor de mejoras importantes en su empresa en el campo de la planificación estratégica y en la introducción de la informática como tecnología de apoyo a la gestión y a la toma de decisiones. Ejerció asimismo como residente de UNESA, la patronal del sector eléctrico, durante los años 1990 y 1991. Julián Trincado fue por otra parte uno de los artífices del denominado «marco legal estable» que reguló en buena medida la actividad del sector eléctrico español entre el año 1987 y la Ley del Sistema Eléctrico promulgada en 1997. Miembro de la junta directiva del Círculo de Empresarios se le consideraba un hombre de pensamiento liberal y prueba de ello es que fundó la Unión Editorial con un grupo de amigos suyos con la finalidad de difundir las obras fundamentales del liberalismo económico dentro de la sociedad española.

La última figura con la cual cerramos esta segunda parte de la «onomástica chica» de la energía es la de Manuel Gómez de Pablos, que también veló sus primeras armas en Saltos del Sil donde ejerció como jefe de la Oficina de Estudios y Proyectos. Gómez de Pablos iniciaba así una fecunda carrera profesional que le llevó a desempeñar puestos relevantes no sólo en el sector privado sino en el Ministerio de Obras Públicas donde fue director general de Obras Hidráulicas, recalando finalmente en la dirección general de Iberduero en 1978 y pasando desde ahí a la presidencia de esa sociedad en 1981 donde se mantuvo hasta que en el año 1991 se produjo la fusión con Hidroeléctrica Española dando lugar a Iberdrola, empresa de la cual ocupó la presidencia de honor. Manuel Gómez de Pablos fue también presidente de UNESA durante 1989 y 1990, y hay que recordar que desde Iberduero le tocó vivir la dura experiencia de los asesinatos de dos de sus ingenieros en la obra de Lemóniz, teniendo que recuperar



Retrato de juventud del poeta Arthur Rimbaud, autor de *Illuminations* y precursor del surrealismo. La radiante pureza de su imaginario puede tomarse como referente metafórico de la ingeniería en el campo energético.

para el equipo humano de la compañía el estado de ánimo tras episodios tan dramáticos. También desempeñó puestos de relevancia en la sociedad civil, entre ellos el de presidente del consejo de administración del Patrimonio Nacional y de la Fundación de la Cruz Roja Española.

Punto final o puntos suspensivos

Finaliza de esta manera la exégesis forzosamente limitada a unos pocos representantes de las figuras que con su sabiduría e inspiración, talento y coraje, hicieron posible la realidad industrial de la energía, uno de los elementos modeladores de la sociedad en que vivimos mucho más allá de su contenido económico o de los aspectos meramente productivos que se le asocian. La energía como aliento de la industria es igualmente el soplo de la vida y por eso también ha inspirado a muchos artistas como Antonio Sant'Elia en sus construcciones dibujadas o a Marinetti y sus futuristas en la literatura, por no citar más que un par de ejemplos representativos de la transposición de una actividad industrial al reino extra-técnico de la imaginación y de la fantasía, conectando de esa manera la ingeniería con anhelos más profundos del ser humano.

Ahora se trata de poner punto final, que nunca podrá ser tal sino uno más en la concatenación bicentaria de puntos suspensivos que es la historia industrial de la energía. Para ello decimos adiós a nuestros ingenieros queridos invitando al lector a concluir la lectura de estas notas rindiéndoles homenaje en las palabras de un poeta intenso, el joven Arthur Rimbaud que nos regalaba en aquellas *Illuminations* trenzadas de imágenes inasequibles el enérgico *fluir* de una deslumbrante adolescencia.

Mais à présent, ce labeur comblé, toi, tes calculs, toi, tes impatiences - ne sont plus que votre danse et votre voix, non fixées el point forcées, quoique d'un double événement d'invention et de succès une saison, - en l'humanité fraternelle et discrète par l'univers sans images; - la force et le droit réfléchissent la danse et la voix à présent seulement appréciées. ♦