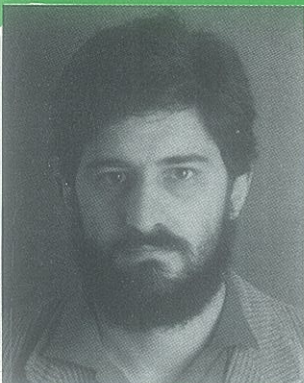




José María MARTINEZ-VAL PEÑALOSA (Ciudad Real, 1951) es Ingeniero Industrial por la ETSII de Madrid. Trabajó en la Junta de Energía Nuclear (1973-79), de la que es funcionario en excedencia voluntaria. Es catedrático de Tecnología Nuclear en la citada Escuela, donde desempeña el cargo de subdirector desde 1985. Su interés académico se centra en la Física de los Reactores de Fisión y en las investigaciones sobre Fusión por Confinamiento Inercial, perteneciendo al Instituto de Fusión Nuclear de la U.P.M. Ha publicado artículos en varias revistas científicas extranjeras y participado en numerosos congresos. Ha publicado dos novelas, la primera de las cuales fue finalista del Premio Planeta en 1981. Fue presidente de la Sociedad Nuclear Española en el bienio 1987-88.

DOS DECENIOS DE ORO EN LA HISTORIA DE LA CIENCIA Y LA TECNICA

J. M. MARTINEZ-VAL

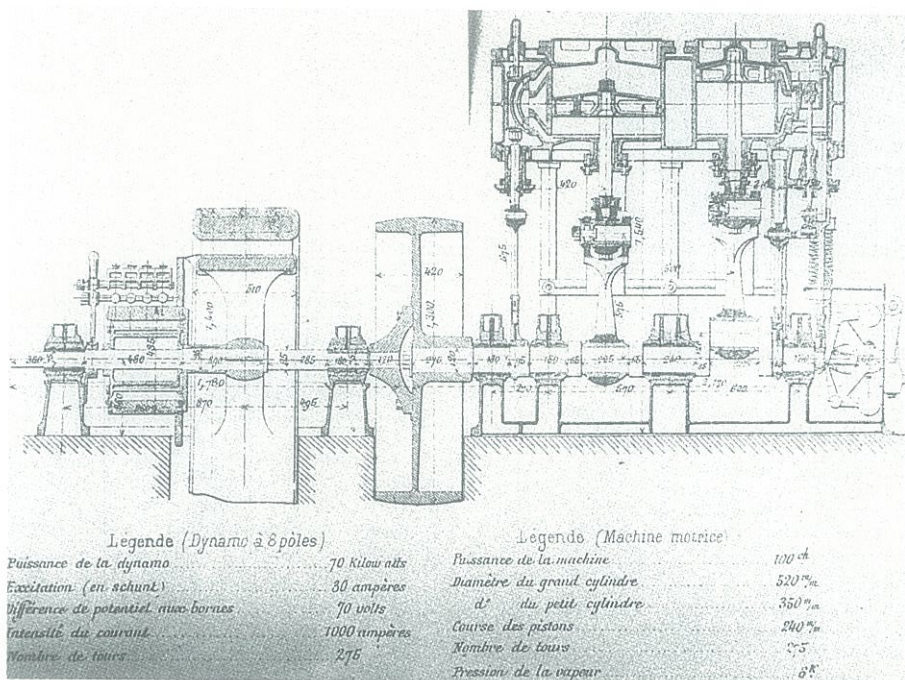
De tanto en tanto se producen unas edades de oro, unos *anni mirabilis* en el devenir de la humanidad que permanecen como hitos portentosos. ¿Será causal o casual que Cervantes y Shakespeare, los más altos genios de la literatura universal, fueran coetáneos? Coetáneos entre ellos fueron también Velázquez y Rembrandt. Y coetáneos, y concurrentes en el espacio, fueron Mozart y Beethoven. Resulta asombrosa la densidad de genios literarios y pictóricos en las primeras décadas del XVII, y no lo resulta menos la excelsitud musical de Viena a finales

del XVIII y principios del XIX. Cierto que Haydn, Mozart, Beethoven y Schubert no habrían podido existir sin el precedente de Telemann y Bach, y el más remoto de Guido d'Arezzo, y el más temprano aún del rey David o del mítico Orfeo, pero entre 1770 y 1827 la música parece avanzar más que en todo el resto junto de su historia. Hasta nuestro compositor más precoz y creativo, Juan Crisóstomo Arriaga nace y muere entre esos años, aunque viviendo solo veinte, por desgracia. En todo caso, la densidad creativa de esos momentos resalta como una

singularidad de nuestra condición humana, y resulta a la vez frustrante y reconfortante. Frustrante porque parece imposible que el genio humano repita esa excelsitud, como parece imposible repetir **Las Meninas** o **La Ronda Nocturna**. Reconfortante porque al fin y al cabo fueron hombres los que realizaron aquellas maravillas.

En la historia de la ciencia y la técnica también es posible encontrar esas concentraciones extraordinarias de genio en el tiempo y en el espacio. Lamentablemente jamás la Ciencia y la Técnica han gozado de un gran fervor por parte de los historiadores y del hombre en general, por lo que esas edades de oro resultan mucho menos conocidas, cuando no totalmente desconocidas, incluso para los propios científicos y técnicos. Creo que uno de los fallos en los estudios de ingeniería en España (y en cualquier parte del mundo) es la escasa atención a la historia de la Ciencia y la Técnica. Y es una triste pena porque pocas cosas más entusiasmantes puede uno encontrar que *ver* a Newton establecer el cálculo integral, o sus Principia, o su Óptica, o *sentirle* chocar contra la Química que había comenzado a sembrar su amigo y coetáneo Boyle (o *escucharle* pelear científicamente con Hooke o Huyghens). Siguiendo los siglos, pocas cosas más ilustrativas que visitar el Air and Space Museum de Washington y contemplar el paso desde el "Kitty Hawk" de los Wright hasta las lanzaderas espaciales. O, retro trayéndonos al XIX, pocas cosas más curiosas que contemplar a Joule, durante su viaje de boda, midiendo la temperatura aguas arriba y aguas abajo de una pequeña cascada para establecer el equivalente mecánico del calor.

Si uno considera en profundidad la evolución histórica del ser humano tiene que reconocer que las ideas morales, filosóficas y políticas han contribuido no poco a esa evolución, pero habrá de reconocer aun con más fuerza que es la tecnología (como aplicación práctica de los conocimientos científicos) el motor más espectacular de la evolución del hombre sobre la Tierra. Comience uno por pensar en el dominio de la pulimentación de la piedra y ascienda del Paleolítico Inferior al Superior. Siga con la agricultura y hágase sedentario. Descubra la reducción de los óxidos metálicos y sus aleaciones, domine la navegación, comience con los romanos las obras civiles bien calculadas, descubra los microbios con Van Leeuwenhoek e invente la vacuna con Jenner. Llegue a nuestro siglo y verá si, para bien o para mal, la tecnología no es el gran motor del cambio de nuestras condiciones de vida. El propio mandato bíblico "creced, multiplicaos y dominad la Tierra" (Gén., 1, 28) sólo puede entenderse completamente desde una perspectiva tecnológica.



F I Corte longitudinal de una dinamo de 1889, en plena década eléctrica prodigiosa.

Pues bien, nuestra tecnología, que *a partir de las fuerzas del núcleo atómico llega a la producción de electricidad*, tiene en su historia dos décadas maravillosas (a decir verdad, dos décadas de algo más de diez años), sin las cuales nuestra tecnología no habría existido. La primera década (segunda por orden cronológico) es bastante bien conocida y abarca desde 1931 al 1943 aproximadamente. Es la década fundacional de la ingeniería nuclear, y la densidad de genios científicos y tecnológicos que trabajan en ella no tiene que envidiar ni un ápice a cualquier otra edad de oro de la humanidad.

La segunda década (primera en cronología) es mucho menos conocida que la anterior, y abarca desde 1881 a 1893, año más, año menos. Es la década fundacional de la ingeniería eléctrica, y a ella vamos a prestar nuestra atención con cierta preferencia.

TRADICION EN LA CIENCIA

Heisenberg, uno de los mayores revolucionarios de la Física, publicó con ese título uno de sus ensayos filosóficos (1) donde defendía la continuidad de la investigación y los conocimientos científicos. La propia teoría de la relatividad, paradigma de revolución científica, no habría tenido oportunidad de nacer si no hubiera sido porque se hallaba ya en-

gendrada en la ciencia anterior a Einstein. Efectivamente, lo que movió a este absoluto genio a investigar sobre la electrodinámica de las cargas en movimiento (que así se llamó su trabajo original) fue la contradicción entre la mecánica racional de Galileo y las leyes maxwellianas del electromagnetismo. Dos teorías perfectas que necesitaban de un *éter*, que nunca existió, para ser compatibles. Y así como Lavoisier acabó con el *flogisto* (que tampoco había existido jamás) y centró las bases para entender las reacciones químicas, así Einstein compatibilizó una y otra teoría, pero la velocidad de la luz resultó invariante y encontró que la masa es una forma de energía.

Ciertamente Heisenberg tendría razón (él, el inventor de la incertidumbre por antonomasia) cuando hablaba de tradición en la ciencia, pero en esa línea más o menos sinuosa que ha ido marcando el progreso científico aparecen momentos en los que hay una eclosión de avances fructíferos que hacen palidecer a las demás épocas. Una eclosión así ocurrió en la Electricidad hacia 1880.

El asentamiento de los principios físicos de esta rama había requerido más de un siglo. Desde los trabajos de Franklin sobre el pararrayos y las descargas eléctricas (1756), hasta la formulación de las ecuaciones de Maxwell (1863), hay más de un siglo de paciente y sesudo estudio sobre el qué es y cómo se comporta la Electricidad. Hay figuras

excepcionales en dicho siglo, como Coulomb, Volta y Ampère, y momentos estelares, como la demostración del principio de inducción electromagnética por Faraday en 1831. Confieso que siento verdadera predilección por Faraday y Maxwell, tan distintos entre sí, tan geniales ambos, inigualable teórico y pensador el segundo, ejemplar intuitivo y experimentalista el primero. Pero hay que poner en perspectiva de 1831 lo que fue ese descubrimiento para reconocer que significaba tan sólo, por decirlo así, una nueva curiosidad científica. En aquellos momentos la utilidad de la inducción magnética no parecía mucho mayor que la de las ingentes cantidades de hierro y níquel que hay en el núcleo de la Tierra. Hubieron de pasar más de treinta años hasta que Ernest Siemens construyera la primera dinamo (así la bautizó él) y casi cincuenta para que la electricidad hirviera de posibilidades y aplicaciones. Fue entonces, hacia 1880, cuando la luz se hizo (la luz eléctrica, ciertamente) y en poco más de una década se pasó de la nada al todo en cuanto al futuro de la electricidad.

Hay que reconocer que en todos esos años que abarcan la parte central del siglo XIX, las inquietudes de los *electrófilos* no reposaron un momento y su imaginación barruntó los más curiosos modelos. Mención merece, sin duda, el abate Salvatore del Negro, profesor de la Universidad de Padua, que en 1832 dio a luz una memoria sobre el que quizá

fuera el primer esbozo de motor eléctrico (no ciertamente según el principio de inducción de Faraday), basado en una actuación parecida a la de los timbres eléctricos. Un electroimán atraía o repelía un péndulo de una manera oscilante según se alimentaba con una u otra polaridad a través de un conmutador sincrónico con el movimiento ondulatorio pendular. El abate apuntaba a una transformación de dicho vaivén en movimiento circular continuo a través de un mecanismo biela-manivela o, según sus palabras, de relojería. Volviendo al símil usado en el párrafo anterior hablando del *nife* en el centro de la Tierra, está claro que hacia 1840 había muchos estudiosos dispuestos a llegar hasta ese *centro* con tal de explotar los fenómenos eléctricos. En una de las figuras que acompañan al texto puede verse la evolución de los modelos de motor eléctrico ideados por el *electrófilo* Forment entre 1836 y 1850 aproximadamente, sin conseguir el resultado tecnológico apetecido, que sería reservado en primera instancia para Ernest Siemens y en segunda a Zenobe Gramme, a éste ya en los albores de la década prodigiosa.

Cuando Maxwell enuncia su teoría (1863), la electricidad no puede producirse de forma masiva, no se sabe almacenar (todavía hoy tampoco) y no hay forma de transportarla a distancia. Cuando en 1893 se celebra en Chicago la International Electricity Exposition, todos los

fundamentos y demostraciones tecnológicas para producir electricidad, transmitirla y aprovecharla (en luz y fuerza) se dominan a la perfección. Lo que sigue a continuación, ¡ya casi un siglo!, no ha sido sino pulir esos logros.

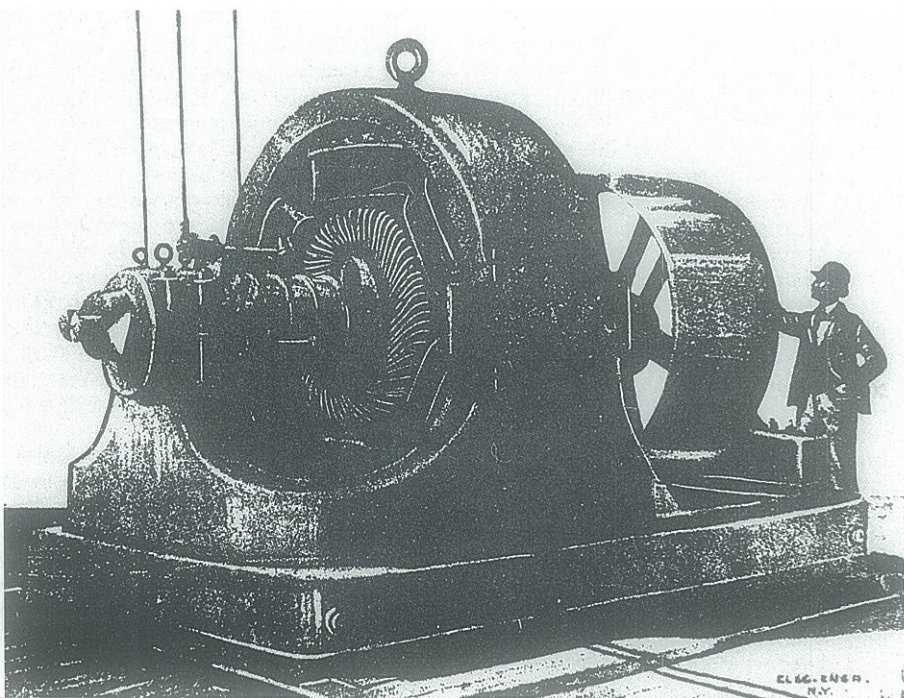
Algo análogo pasará años más tarde en el campo de la energía nuclear. Cuando Chadwick descubre el neutrón (1932) se sabe que el núcleo atómico debe poseer una energía potencial extraordinaria, pero no se atisba aún la idea de cómo aprovecharla. Diez años después ya se ha construido el primer reactor nuclear y se han hecho todos los desarrollos tecnológicos de base para explotar la energía nuclear de fisión.

EL DECENIO NUCLEAR PRODIGIOSO

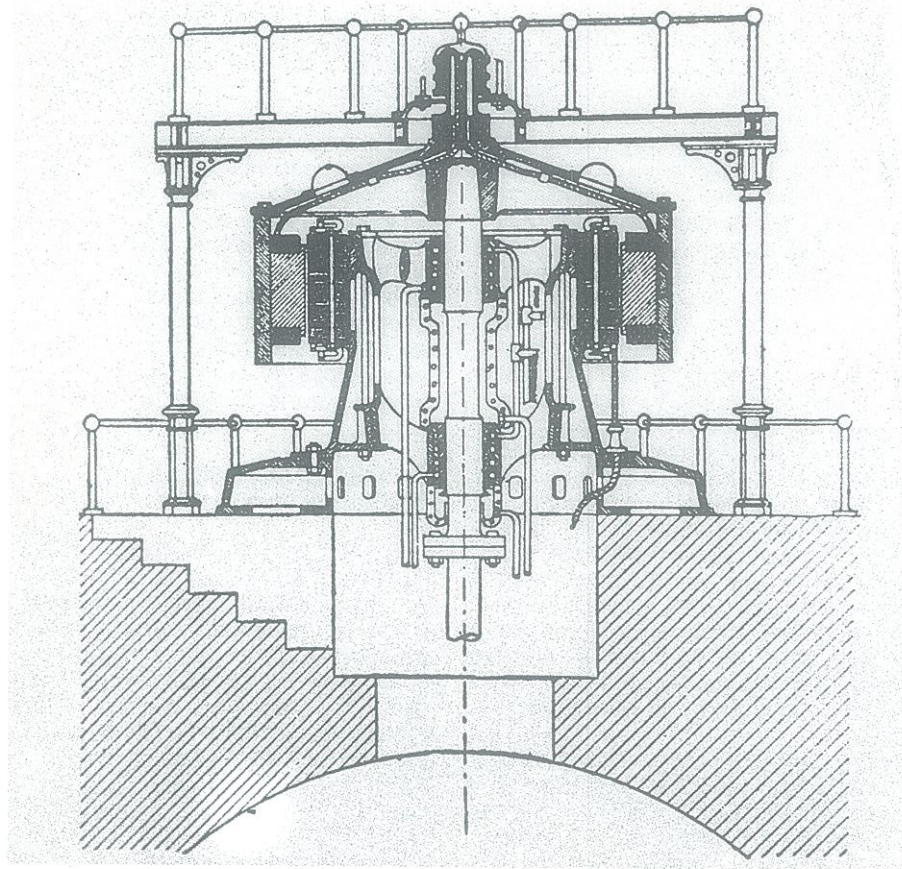
Es bien sabido que en ese decenio largo (1932-43) hay dos fases consecutivas de características totalmente distintas. Hasta principios de 1939 se obtienen avances científicos significativos sobre la comprensión del núcleo, la radiactividad y las reacciones nucleares. Todo ello gracias al neutrón, sabiamente utilizado en la Universidad de Roma por Fermi y sus colaboradores, y en el Instituto del Radio de París por los Joliot-Curie, por citar sólo los exponentes magistrales de ese momento. El neutrón representa un bisturí con el cual poder indagar en el núcleo atómico. Es imposible analizar las entrañas de un sistema si no se dispone de una sonda capaz de penetrar en él y de interaccionar con sus componentes estructurales. Las partículas alfa habían servido a Rutherford para sondear el átomo y hallar la curiosa estructura de la materia con un núcleo central denso, diminuto y positivo, y una corteza exterior volumétrica, liviana y negativa. A finales de los años veinte, Walton, Van de Graaf, Cockcroft, Wideröe y varios otros habían emprendido el camino de los aceleradores para sondear los núcleos con otros núcleos (en general protones) muy acelerados. Esta línea representaba otro bisturí nuclear, pero contra él jugaba un papel muy fuerte la repulsión coulombiana, pues las partículas incidentes estaban, como los núcleos, cargadas positivamente.

El neutrón, pues, fue la herramienta que se impuso en el mundo más próximo de las reacciones nucleares, mientras que los aceleradores resultaron imprescindibles en el descubrimiento de nuevas partículas y en la investigación de las interacciones a muy alta energía, pero ésa es otra historia.

El hito final de la primera fase del decenio prodigioso es la fisión, lógicamente. Sugerida, aunque con nula credibilidad, por la checoslovaca Ida Noddack en 1936, intuita por Szilard poco después, e interpretada finalmente por Otto



F II Un ejemplar del alternador trifásico de Tesla, posiblemente la pieza más importante del decenio eléctrico prodigioso.



F III Esquema del alternador bifásico que acabaría adoptándose en la central hidroeléctrica de Niagara Falls en 1895, tras las discusiones entre corriente continua (Edison) y corriente alterna (Tesla-Westinghouse). Toda la tecnología eléctrica estaba ya fundamentada.

Hahn y Fritz Strassmann a finales de 1938, fue posiblemente Fermi el primero que la había producido hacia 1934, aunque se le escapara la interpretación que, a la postre, dio renombre mundial a Hahn. Fermi, no obstante, partía en enero de 1939 de una situación de privilegio para explotar la naciente fisión hasta sus últimas consecuencias. La razón: era el mejor físico experimental neutrónico y uno de los mejores teóricos nucleares. Había dos claves para dominar la energía nuclear de fisión y en las dos se mostró Fermi el más competente:

1.º Conocer con sumo detalle las características de la interacción de los neutrones con los distintos tipos de núcleos que hay en la naturaleza (lo que hoy día denominamos problema *nucleónico*). De no evaluar bien lo que él mismo llamó secciones eficaces, no habría forma de realizar ningún diseño nuclear fiable. En este campo fallaron clamorosamente algunos de sus competidores, como el premio Nobel alemán Walter Bothe, uno de los mejores físicos experimentales del momento, al que posiblemente fallaron la paz y el sosiego para investigar en

aquellos años (como a Fermi le habían fallado en Italia unos años antes, a lo cual podría imputarse su fracaso de no descubrir la fisión, que él, sin duda alguna, había producido en mayores cantidades que nadie en aquellas primeras fechas, gracias a su descubrimiento de los neutrones térmicos).

2.º La segunda clave era idear una teoría *neutrónica* sobre la reacción en cadena, particularmente aplicada a un reactor térmico. Parece que el grupo francés, y particularmente Joliot y Perrin, anduvieron tras ello e incluso tramitaron una patente antes de la guerra; pero fue el equipo de Chicago, capitaneado por Fermi, quien elaboró una teoría meramente académica —que hoy día se explica en todos los primeros cursos de ingeniería nuclear en todas las universidades del mundo—, pero que resultó extraordinariamente útil para guiar el diseño de un reactor térmico con uranio natural y neutrónicamente heterogéneo (en el que la moderación transcurriera mayoritariamente fuera del uranio para evitar las capturas resonantes del U-238).

El 2 de diciembre de 1942, Fermi, en

persona, situaba al Chicago Pile-1 en estado crítico. El primer reactor nuclear hecho por el hombre había funcionado. Tras ello había que afrontar la construcción de reactores de potencia que sirvieran para producir plutonio. En esta segunda fase, Fermi siguió jugando un papel estelar, pero el protagonista más completo fue posiblemente Eugene Wigner, el futuro premio Nobel, que durante el primer trimestre de 1943 estableció el diseño neutrónico, termohidráulico y de seguridad de los reactores que se emplearían para tal fin. Wigner era consciente de que para extraer varias decenas de kilovatios por litro de combustible envainado haría falta un buen refrigerante, y pensó en el agua, pero al mismo tiempo sabía que el hidrógeno es un absorbente de neutrones térmicos no despreciable, y actuaría como blindaje de estos neutrones al estar situado entre el moderador (grafito) y el uranio. Mas aún, de poner mucha agua, las capturas térmicas harían subcrítico el reactor.

Hay pocos datos sobre el devenir de los conceptos térmicos en aquellos momentos, entre otras cosas porque Wigner terminaría enfadándose con los ingenieros de la Du Pont y marchándose, aunque después volviera, del Proyecto Manhattan. Su gran amigo Alvin Weinberg es quien más ha hablado del tema y reconoce que Wigner fue quien apuntó tanto hacia el reactor de grafito (de baja densidad de potencia) como al refrigerado por agua (de mayor densidad de potencia), modelos ambos que acabarían construyéndose. Ahora bien, Wigner señaló desde el principio la inestabilidad intrínseca de los reactores de grafito refrigerados por agua, por lo que estableció unas restricciones de diseño y operación muy fuertes que evitaran que una desaparición súbita del agua (por ebullición, típicamente) indujera un estado altamente supercrítico y la consiguiente excursión de potencia, lo que a la postre ocurriría en Chernobyl. Su otro gran amigo Edward Teller, primer director del Advisory Committee on Reactor Safeguards, nos aseguraba en su visita a Madrid en junio de 1989 que ésta fue la principal razón de que jamás se pensara en la comercialización de estos reactores en Estados Unidos. Las bases científico-técnicas sentadas por Wigner eran irrefutables y clarividentes.

En definitiva, en 1943 toda la fundamentación científico-técnica de los reactores de fisión estaba establecida. Los perfeccionamientos durante el primer período de Los Alamos, 1943-45, fueron dirigidos hacia los explosivos nucleares que, a la postre, llevaron al dramático conocimiento público de la energía nuclear. En estos párrafos hemos citado sólo a un corto número de los científicos que protagonizaron esta década maravillosa en la historia de la Física y la Tecnología. Hubo muchos más, como todos sabemos,

y a través de los citados es de justicia rendir homenaje a todos ellos.

LA DÉCADA PRODIGIOSA DE LA ELECTRICIDAD

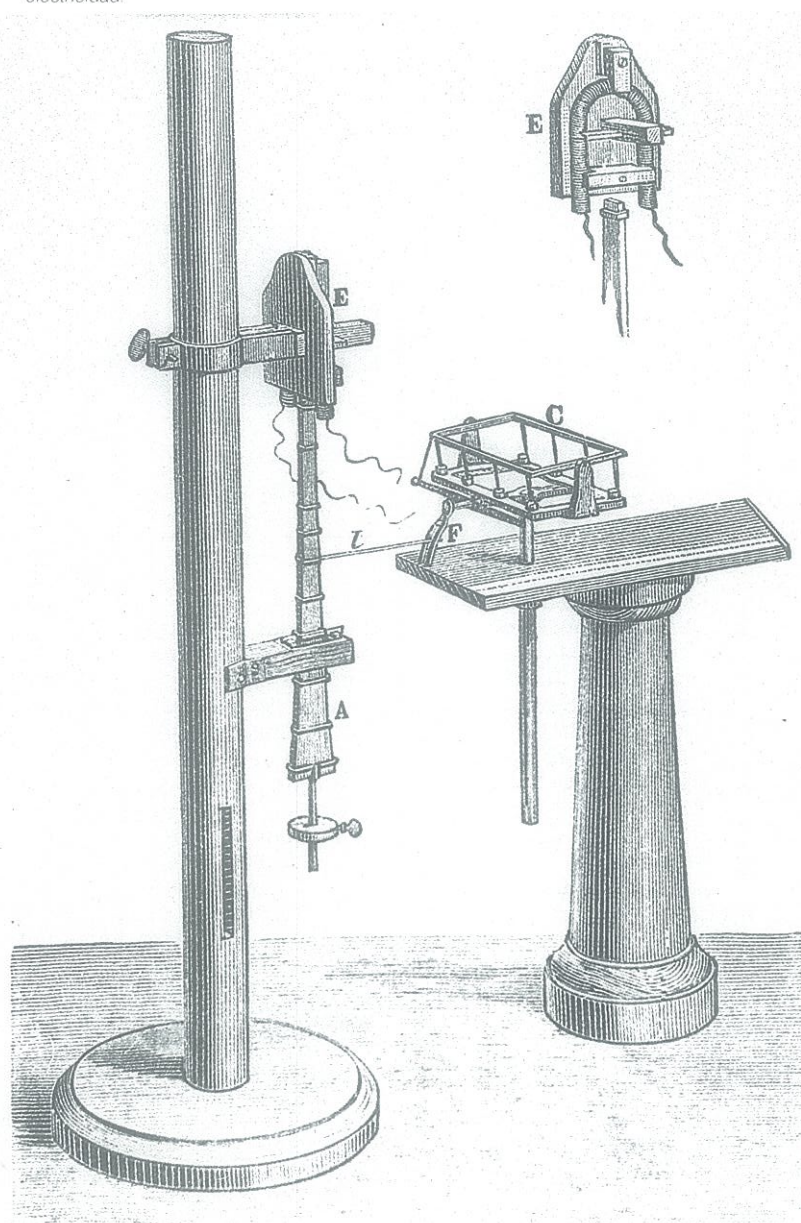
Algo similar ocurre en esos años finales del XIX, que ya hemos señalado. Lamentablemente, no sé si por la ausencia de dramatismo o por la rápida acomodación de la sociedad a la electricidad, esos años no gozan de ningún reconocimiento público ni suscitan tanto interés. Pero, no cabe duda de que, en la historia de la humanidad, habría que hablar de un antes y un después de esa década. Sus figuras, por otra parte, no se asocian con grandes melodramas personales, sino en todo caso con la burguesía capitalista y emprendedora, como Edison (General Electric), Westinghouse (su propia empresa) y Siemens (igualmente). Estas tres son sin duda figuras señeras, pero probablemente no fueron las más interesantes. Toda comparación es odiosa y todo paralelismo humano falla; pero si hubiera que buscar una especie de Fermi en la década eléctrica, ése sería Nikola Tesla. Emigrante como él (aunque croata de nacimiento y serbio de origen, en vez de italiano), Tesla aunaba una sólida formación científica con una extraordinaria capacidad como *homo habilis* experimental. Como nuestro Lope de Vega, "en menos de horas veinticuatro pasaba de las musas al teatro", y las aplicaciones del campo magnético quedaban materializadas en seguida. Como a nuestro Lope de Vega, le gustaba la poesía, y, cuentan sus biógrafos, que cuando llegó a Estados Unidos —ya ingeniero eléctrico, pero aún por cuajar a sus veintiocho años— llevaba en el equipaje unos pocos dólares y muchos poemas, que raramente mostró o recitó a otros. Esa inquietud literaria le llevó a frecuentar amistades en dicho campo (más incluso que en el tecnológico), siendo el polígrafo y simpatiquísimo Mark Twain uno de sus amigos más íntimos.

Podríamos cualificar a Tesla, en cuanto científico, por el hecho de que el Sistema Internacional de Unidades otorga su nombre a la unidad de inducción del campo magnético, que por cierto resulta demasiado grande para su uso común. Desgraciadamente, en su momento no se le reconoció toda su valía científica pura y no se le otorgó el premio Nobel, cosa que hubiera estado archijustificada tanto si lo hubiese compartido con Marconi y Braun como si lo hubiera recibido solo. Quizá pecó Tesla de en exceso conjetural y visionario, cosa que casaba bien con sus instintos líricos. Tesla vivía como pez en el agua cuando se encontraba en la frontera de la ciencia, pero ello le llevaba a veces a elucubraciones quijotescas más que a teorías rigurosas,

que sin duda habrían tenido una mejor acogida doctrinal entre sus científicos coetáneos. Aunque sea saliéndonos de la década dorada objeto de este artículo, podemos contar entre los descubrimientos de Tesla la captación de ondas magnéticas estacionarias en la magnetosfera terrestre. Era entonces finales de siglo, y veremos que Tesla ya no necesitaba dedicarse a las investigaciones prácticas y tecnológicas para poder vivir. Había ideado un montaje magnífico para el estudio de ondas herzianas, usando un transformador cuyo primario se ponía en serie entre la antena y la borna^a de tierra. Escapándose con su imaginación

más allá del campo magnético terrestre, Tesla intentó además auscultar electromagnéticamente el universo (lo cual, de haberlo expresado con mayor rigor científico, habría justificado otro premio Nobel). En ello se adelantaba a la radioastronomía, pero su propia imaginación le jugó una mala pasada: captó, sin duda alguna, la existencia de señales electromagnéticas procedentes del espacio exterior, pero en vez de sistematizarlas e intentar elaborar una teoría sobre ellas... decidió que la enviaban seres extraterrestres más avanzados que nosotros. Por cierto, Sir Fred Hoyle, uno de los astrónomos más reputados de nuestra época, escribió

F IV Quizá el primer motor eléctrico fuera el del abate Dal Negro (de Padua), hacia 1831. No era de inducción, sino de electroimán. Faraday abrió en esa misma época el camino fértil de la electricidad.



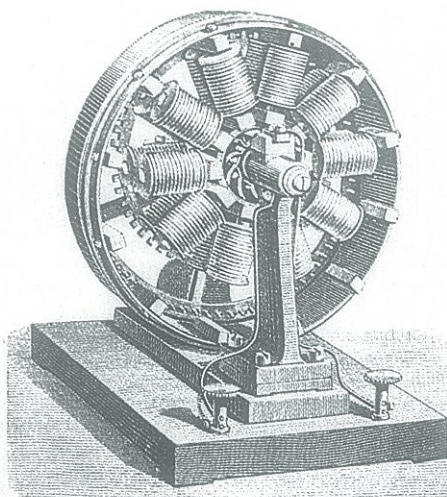
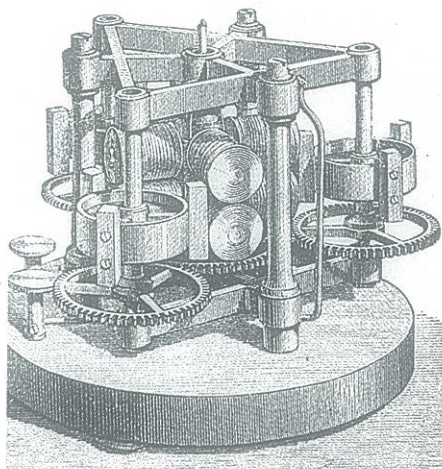
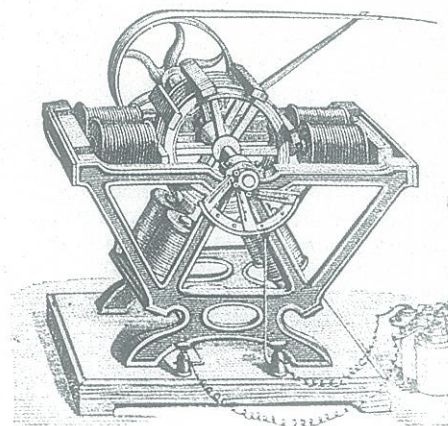
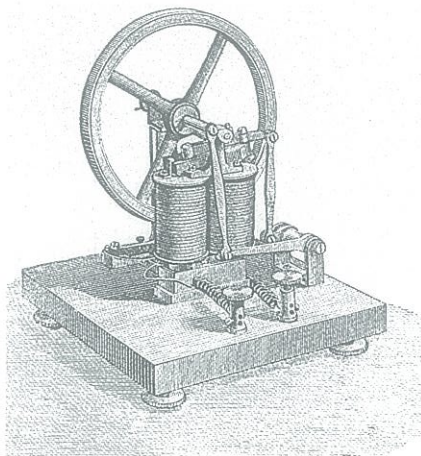
una excelente novela, "A de Andrómeda", cuya trama comienza cuando en un gigantesco radiotelescopio se reciben señales "inteligentes" desde un punto muy alejado del universo, coincidente con la galaxia Andrómeda. No sigo porque la novela merece la pena leerla. Me pregunto si Hoyle tenía en mente las *escuchas* de Tesla en la *tercera fase* cuando imaginó esa trama.

Por fortuna, en aquel momento Tesla era ya sobradamente conocido en todos los ambientes científico-técnicos, pero aun así más de uno le tildó de manipulador y visionario. Visionario ciertamente lo era, pero de manipulador nada. A Tesla le seducía mucho más la hipótesis poética de comunicarse con otros seres que la de buscar meras explicaciones científicas que en ese momento habrían resultado prematuras, pues ni se tenía conocimiento de la naturaleza cuántica de la luz ni se intuía siquiera la estructura interna de lo que todavía eran átomos (y, por tanto, indivisibles).

Ejemplos de que no era un manipulador, sino un ingeniero certero y concienzudo, los hay a decenas. Quizá el más señalado, sin salir del campo de las ondas magnéticas (terrestres y extraterrestres), fue la demostración de que se podían transmitir cantidades apreciables de energía a través de aquellas ondas (pulsándolas resonantemente), aunque, a la postre, el rendimiento de transmisión resultara muy bajo. Gracias a su laboratorio y sus antenas de Colorado Springs logró producir dichas pulsaciones e iluminó 200 lámparas de incandescencia..., emitiendo la electricidad desde 40 km de distancia (Look mum, no wires!). Ahora que hacen furor los teléfonos sin cables, que cada dos por tres se enredan e interfieren con otras ondas, quizá se aprecie mejor la imaginación desbordada y la pericia técnica de Nikola Tesla.

Pero antes de llegar a aquella situación un tanto privilegiada de investigador por libre que podía acometer cualquier estudio de casi ciencia-ficción, Tesla había tenido que demostrar su capacidad para resolver los problemas electrodinámicos todavía pendientes en 1883 (un año antes de decidirse a emigrar al Nuevo Mundo, porque Europa se le quedaba pequeña, aunque en ella —concretamente en la universidad de Graz— hubiera aprendido electromagnetismo y hubiera desarmado las dinamos de Siemens y Gramme).

En Estados Unidos, Tesla trabajó inicialmente con Edison, pero chocaron tanto por disparidad de caracteres como por cuestiones científicas. Edison, el autodidacta pragmático por naturaleza, no aceptaba bien las elucubraciones imaginativas de Tesla, ni siquiera cuando funcionaban. Por cierto, tampoco dejaba Tesla de ser original en esto del funcionamiento. Trabajando ya para Westinghouse (a partir de 1885) y habiéndole ya



FV En los cincuenta años que van desde Faraday a la primera gran Exposición Internacional de París (1881) no sólo se sientan las bases de la electricidad y el electromagnetismo (Kirchhoff, Maxwell...), sino que se ensayan multitud de ingenios eléctricos, como éstos de Froment, que corresponden a su propia evolución personal en la década de 1840.

vendido las primeras patentes sobre corriente alterna que catapultarían su compañía hacia el estrellato, Tesla demostraba la inocuidad de la corriente alterna (a bajo voltaje, claro) cerrando el circuito ¡a través de su propio cuerpo! Anécdotas aparte, en aquellos años centrales de la década prodigiosa se entabló una furiosa batalla entre las dinamos y la corriente continua de Edison, por una parte, y Westinghouse, por otra que, basándose en el trabajo de Tesla, veía que el futuro era de la corriente alterna. La pugna duró hasta finales de siglo, como habrá ocasión de comentar otra vez al final del artículo y espoleó fértilmente la investigación y el desarrollo de la electricidad, haciendo que alcanzara la madurez tecnológica en apenas diez años. Ya sabemos que al final sería Edison quien sería la batalla, pero como este genio del taller y las finanzas sabía muy bien transformar en victoria una derrota, se acopló en un abrir y cerrar de

ojos a la nueva circunstancia, y su despliegue comercial (General Electric incluida) no sufrió ninguna merma. En medio, pues, volvemos a encontrar a Tesla. Por su habilidad ingenieril, muchos creen que su idiosincrasia es similar a la de Edison, y nada más lejos de ello. Tesla no tenía olfato para los negocios, y como lo sabía perfectamente, buscó siempre un socio capitalista que le comprara las patentes o le facilitara la investigación. Durante la década eléctrica prodigiosa fue Westinghouse. Años después, cuando intentaba desplegar su emisora y sus antenas de radio en Long Island en lo que hubiese sido la primera cadena radiofónica del mundo, en 1901, su mecenas era el todopoderoso banquero John Pierpont Morgan, que decidió invertir nada menos de 150.000 dólares, de los de entonces, en el proyecto. No está bien claro por qué los socios capitalistas le dejaron en la estacada, que quizá detectaron que el mercado

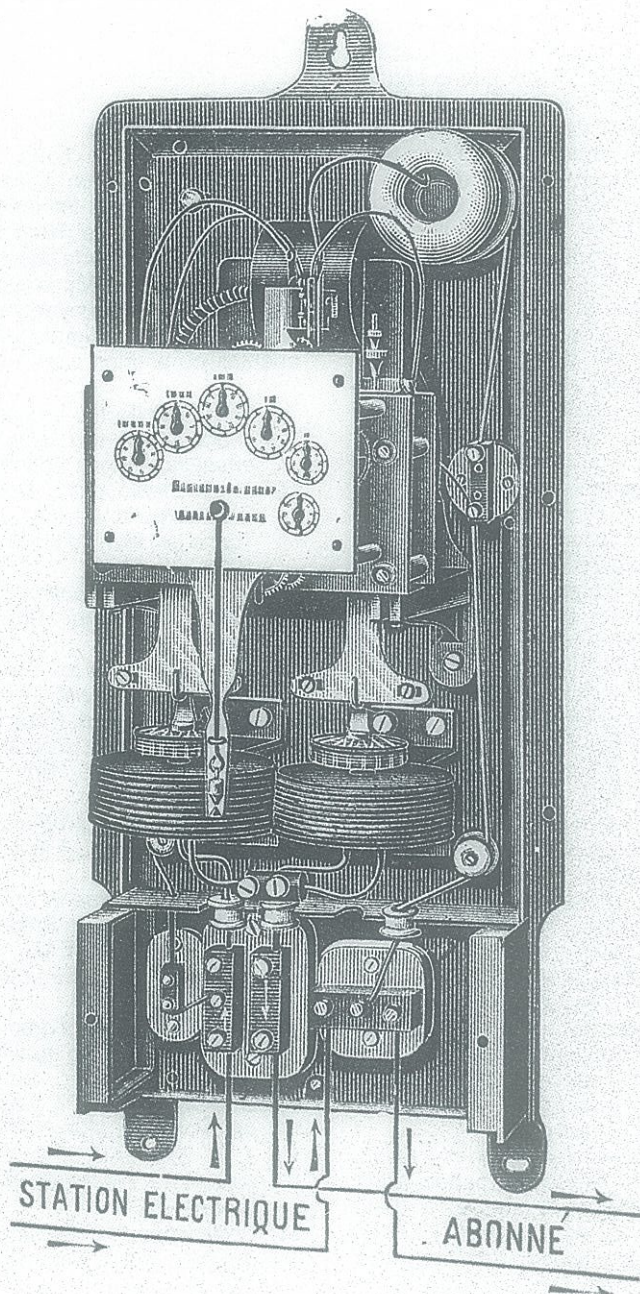
aún andaba crudo para una iniciativa tan revolucionaria; pero la cuestión es que le dejaron a Tesla con sus antenas, pero descompuesto. Tesla no tiraría la toalla por ello, y empleó sus equipos en demostrar que podía gobernar perfectamente un barco por control remoto gracias a las ondas de radio. En este experimento hay un claro paralelismo con los de Marconi, lo que hace aún más incomprensible que no se le concediera el premio Nobel. En todo caso esto nos aleja de la década dorada de la tecnología

eléctrica, que es el núcleo de nuestro argumento. (Por cierto, Marconi, sin duda otro genio, pero más *edisoniano* que lírico o renacentista, fue demasiado joven para intervenir en esa década. No tenía ni diez años cuando comenzó.) En 1891 Tesla ultima su alternador y la corriente alterna termina imponiéndose sobre la continua. El primer gran paso se había dado ocho años antes, cuando Lucien Gaulard había demostrado el principio de transformación y había logrado aumentar el voltaje de una co-

rriente, a la vez que disminuía su intensidad (con notables pérdidas, por cierto). Cuando en 1884 Gaulard hizo públicos sus resultados, nadie le prestó demasiada consideración por ser tan espectaculares, pero en muy pocos meses los transformadores eran un hecho, lo cual abría unas perspectivas magníficas; pero antes de comentarlas es necesaria una breve y triste digresión. Al hablar de estos ilustres eléctricos, los asociamos siempre a grandes triunfadores, como Edison y el propio Tesla. Con Gaulard no fue así. Hoy día le reconocemos científicamente como el inventor de los transformadores, pero sus tiempos los vivió amargamente. Poco hábil para obtener patentes sobre su invención, Gaulard perdió juicio tras juicio, se arruinó entre abogados, se volvió loco, y murió a los treinta y ocho años en una casa de beneficencia. La investigación se ha cobrado siempre notables infortunios humanos.

En todo caso, Gaulard había abierto el camino para vencer el talón de Aquiles de la electricidad: la imposibilidad fáctica de su almacenamiento. Hay que tener en cuenta que estos hombres no trabajan a oscuras, sino sobre el extraordinario trabajo teórico y experimental de sus predecesores como Ohm, Kirchhoff, Gauss, Weber, Bunsen, Maxwell o Faraday, y sabían que las pérdidas en la transmisión de la corriente eran inversamente proporcionales al voltaje empleado. El voltaje estaba inicialmente acotado en las primeras dinamos por el campo eléctrico soportado por los aislantes. Las chispas de arco y los cortocircuitos estaban a la orden del día, y eso parecía impedir el despliegue de la electricidad, que en idea de todos debía hacerse sobre una red de usuarios alimentados a cierta distancia por una central generadora, dado que no podía almacenarse en cantidades apreciables y trasladarse por otros medios. En 1882 el ingeniero francés Deprez, siguiendo las pautas del autodidacta belga Zenobe Gramme (el mejor constructor de dinamos del momento), aprovechó el cable del telégrafo bávaro entre Miesbach y Munich (57 km) y transportó potencias moderadas a 1 kilovoltio con pérdidas del 30%. Repitió la operación en 1885 entre París y Creuil, con potencias de casi 100 kW, voltaje de 6 kV y rendimientos decepcionantes del 45%.

En aquel momento los transformadores eran aún casi una entelequia en la que bastantes ingenieros no creían, como acabamos de decir al hablar de Gaulard, pero no había de pasar mucho tiempo para que demostraran su extraordinaria potencialidad. En 1891 Tesla empleó su alternador trifásico que proporcionaba 100 caballos con una corriente de 150 amperios a 5.000 voltios, elevó el potencial a 14 kV con un primitivo transformador, y logró unir Frankfurt con Lauffen (175 km) con rendimientos aún modera-



F VI Las compañías eléctricas siempre manifestaron un mecenazgo cultural y social importante, pero no por eso se olvidaron de cobrar al abonado. La figura corresponde a un contador de 1889, tal como finalizaba el decenio dorado de la electricidad y se preveía su intensa comercialización.

dos, pero señalando claramente cuál era el camino tecnológico a seguir.

POTENCIA PARA LOS GENERADORES

Lógicamente las primeras dinamos y alternadores usaron los mecanismos energéticos existentes, y particularmente los del transporte terrestre y marítimo. Pero estaba claro que los modelos de Watt, Stephenson o Fulton de *máquinas de vapor* no ofrecían ni rendimientos ni potencias unitarias que satisficieran a un Edison o un Westinghouse. La necesidad crea el órgano, dicen los evolucionistas, y así no es de extrañar que en aquellos mismos años apareciera la inquieta figura del americano Charles Parsons, que a sus treinta años, en 1884, maravillaría al mundo con su nueva máquina: *la turbina de vapor*. Tres años después montaba su prototipo mejorado en el barco "Turbinia", de 44 toneladas, que alcanzaba la mítica velocidad de 34 nudos, movido por los 2.300 caballos de vapor de su propulsor. Las turbinas que hoy disfrutamos no son sino evoluciones y desarrollos tecnológicos sobre el modelo del "Turbinia". La máquina de Parsons se aplicó de inmediato como fuente motriz de los grandes alternadores que comenzaron a proyectarse para las primeras centrales térmicas, ubicadas en general dentro de las ciudades.

Una ubicación bien distinta era necesaria para las *centrales hidráulicas*. La energía potencial del agua había llamado poderosamente la atención a muchos de los mejores científicos del XVII y XVIII, como los Bernouilli y, especialmente, Euler. Es impresionante estudiar el colosal desarrollo de esta gente sobre un campo, la hidráulica motriz, de tan exiguas aplicaciones en aquellos momentos. No es de extrañar, por tanto, que el inglés Francis hubiera logrado construir hacia 1850 una magnífica turbina radial, ideal para caídas medias, que en ese momento resultaban las más asequibles de explotar. Lógicamente, el advenimiento de la industria eléctrica, primero con Siemens, luego con Gramme, definitivamente con Tesla, hizo subir enteros el valor de aquellas turbinas. Los Alpes, tanto franceses, como suizos, como italianos, como alemanes, como austríacos, fueron testigos del uso inmediato de lo que en aquellos tiempos se dio en llamar hulla blanca. Tesla había demostrado ya cómo transmitir energía eléctrica a distancia eficientemente, por lo que la ubicación algo remota no era un problema. En América, lógicamente, la primera central hidráulica de potencia se construyó en el Niágara, y sobre ella hubo una controversia no diminuta hacia 1895 sobre si usar dinamos, alternadores bifásicos o trifásicos. En ella intervino ventajosamente C. E. L. Brown, de Baden, padre de la

industria eléctrica suiza y anterior colaborador de Tesla en la línea de Frankfurt. La solución final para la Cataract Construction Company fue un acuerdo de compromiso, que de hecho sería como un triunfo para Westinghouse y la corriente alterna, que en 1896 iluminaba la ciudad de Buffalo. Anteriormente, Edison había sido prácticamente el monopolizador de la iluminación, y de modo particular en los recintos feriales de París en 1881 y Chicago en 1893.

Como es bien sabido, a la turbina de Francis pronto le siguieron dos modelos también muy eficientes y altamente especializados: la del americano Lester Allen Pelton (hacia 1870), para grandes caídas, y la del austríaco Victor Kaplan, para pequeños saltos de mucho caudal, hacia finales de siglo.

Vistos desde la perspectiva lejana de casi cien años, aquellos ingenieros pueden parecerse autómatas dirigidos al mero fin de producir electricidad. No, en absoluto. Aquellos seres humanos hubieron de afrontar riesgos físicos (sobre todo Tesla), se preguntaron sobre la licitud, la ética y el alcance de sus investigaciones, tuvieron que hacer frente a una oposición pública no pequeña (aunque transitoria) y hablaron entre ellos de su deontología profesional. El 13 de mayo de 1884 se constituyó en Nueva York el American Institute of Electrical Engineers, como asociación de científicos y técnicos involucrados en el tema, y en septiembre del mismo año celebraban ya su primera Reunión Anual para hablar de lámparas de incandescencia, interconexión, sincronismo, la tierra como cierre de circuitos eléctricos, normalización, gestión de patentes... Esas reuniones fueron fundamentales para el desarrollo de la electricidad, como ya lo eran por entonces las de la Société Française des Electriciens, en cuya sesión de febrero de 1884 Gaulard había suscitado una viva controversia con la presentación de sus experimentos sobre transformadores.

El papel de estas asociaciones fue extraordinariamente fructífero, de auténtico caldo de cultivo en el que germinaron multitud de ideas, las mejores de las cuales acabaron imponiéndose. Con anterioridad a esa década, la electricidad era poco más que una extravagancia de sesudos científicos. Después de ella se convierte en una fuerza grandiosa al servicio de la humanidad.

El campo fundamental, aunque no único, de la Sociedad Nuclear Española es la producción de electricidad a partir de la energía del núcleo atómico. En ese campo no podemos estar desarraigados de nuestra historia, y resulta curioso que las dos raíces de nuestro quehacer surgieran de dos décadas prodigiosas. Dos décadas que deberíamos conocer mejor, para entender más profundamente qué estamos haciendo.

Considerando la década dorada de la ingeniería eléctrica emerge la pregunta de si ese decenio podría no haber tenido lugar de no haber vivido esos genios como Edison y Tesla, y uno se inclina a pensar que habría tenido lugar a pesar de todo. Porque con el precedente que habían creados hombres como Coulomb, Volta, Galvani, Ampère, Faraday, Kirchhoff, Bunsen, Maxwell a lo largo de un siglo, los Gaulard y Tesla tenían que aparecer, como tenían que aparecer Fermi y Wigner tras las huellas de Curie, Rutherford, Einstein y Bohr. Por fortuna, en ambos casos aparecieron.

BIBLIOGRAFIA

Ante todo agradezco al catedrático de Electrotecnia Angel Pérez Coyo y a la profesora de Inglés Técnico Natividad Carpintero Santamaría sus orientaciones bibliográficas, y a María Dolores Campaña su inestimable ayuda en la indagación de textos antiguos. Como títulos orientativos podrían citarse:

1. W. HEISENBERG, *Encuentros y conversaciones con Einstein y otros ensayos*, Alianza Editorial, 1979.
2. *Enciclopedia delle Arti e Industrie*, Ed. Raffaele Pareto (vols. 5 y 6), Torino (sin fecha de impresión). Circa, 1900.
3. G. KAP, *Construction electromecaniques*, Beranger Ed., París-Lieja (1898).
4. E. HOPITALIER et J. A. MONTPELLIER, *L'électricité a l'exposition de 1900*, Ed. Dunod, París (1900).
5. S. THONSSON, *Courants polyphasés*, Beranger Ed., París-Lieja (1901).
6. H. M. HOBART, *Moteurs électriques*, H. Dunod y E. Pinat, Eds. París (1907).
7. L. FERMI, *Atoms in my family*, University of Chicago Press (1954).
8. PIERRE ROUSSEAU, *Histoire des techniques et des inventions*, Ed. Hachette, 1967.
8. W. BRAUNBEK, *El drama fascinante de la investigación nuclear*, Ed. Labor (1963).
9. B. GOLDSCHMIDT, *Las rivalidades atómicas*, Ed. JEN (1972).
10. J. E. BRITTAIN, *Turning points in American Electrical History*, IEEE Press, 1977.
11. *Encyclopaedia Britannica. Macropædia*, vol. 18, Chicago Univ. Press (1983).
12. P. GOODCHILD, *Oppenheimer, Shatterer of worlds*, Fromm International (1985).
13. M. MATAIX, *De Becquerel a Oppenheimer*, Senda Editorial, S. A. (1988).