

50 AÑOS DE TECNOLOGÍA Y POLÍTICA INDUSTRIAL: LA ELECTRICIDAD EN ESPAÑA

VICENTE LÓPEZ-IBOR

Presidente de Estudio Jurídico Internacional
Ex Consejero de la Comisión Nacional de
Energía

JOSÉ MARIA MARTÍNEZ-VAL

Catedrático de Termodinámica, ETSII-UPM
Director de la Fundación F212

No parece nada riguroso comenzar un artículo técnico hablando de pareceres; pero el objeto del artículo está tan omnipresente en nuestro *modus vivendi*, que el primer rasgo a comentar es algo tan subjetivo como el valor que conferimos a la electricidad, no como fenómeno físico, sino como entidad, en general mal conocida, que usamos continuamente de manera

casi inconsciente, y que tan solo aflora al ágora o a las noticias por el «recibo de la luz».

LA ELECTRICIDAD, INDISPENSABLE

Si a un conciudadano nuestro, mujer u hombre, se le pregunta qué artefacto industrial es el que más le gusta o impresiona citará el automóvil o la televisión u otros equipamientos básicos y familiares a la vida ordinaria. Si una vez emitida su opinión repentina, un tanto improvisada, se les pide que reflexionen sobre lo que han dicho, y que contemplen los artefactos industriales con mayor perspectiva, casi todos, hombres y mujeres, cambian de opinión, y aseguran que la invención más importante es la «luz eléctrica». El problema es que se ha hecho tan familiar, resulta tan ubicua y está tan garantizada que la damos ya por algo natural, cuando no lo es. Si al entrevistado de turno se le pide que ahonde un poco más en lo que ha dicho, y se percata de que la bombilla, todos los objetos, productos o equipos citados dependen de interruptores, enchufes y cables, generaliza su elección y concluye: la invención más importante ha sido la electricidad. Y en la mayor parte de los casos

reconocerá que no sabe qué es ni cómo se genera, pero sabe perfectamente que da calambre, y si el calambre descarga con mucha energía, uno puede quedar electrocutado, lo que en general comporta la muerte.

Esta descripción, algo sardónica, se aproxima a la idea común sobre la electricidad en un país con acceso garantizado a ella, cuestión ésta que no cubre al 100% de la humanidad, sino a poco más de la mitad, y que al comienzo de nuestra historia todavía mostraba lagunas en las zonas rurales de nuestro país, y mal servicio en casi todo el territorio, por el retraso secular español en incorporarse a la Revolución Industrial. Esta incorporación la hizo efectiva España esencialmente en la segunda mitad del siglo XX, y hoy día podemos reconocer la existencia de un sector eléctrico consistente, bien equilibrado a pesar de algunos excesos, con una red de alta tensión bien dimensionada y operada, que ha permitido la entrada masiva en el sistema eléctrico de energías renovables discontinuas (como el viento) y ha minimizado la tasa de apagones en lo que va de siglo, sin desastres como los ocurridos en California en el 2000 y después en la costa Este norteamericana, Italia,

Reino Unido y tantos otros países de economía muy saneada, pero sin los equipos humanos y los equipamientos técnicos que la electricidad necesita para ser explotada con seguridad, eficiencia y a buen precio, o en los que sencillamente no se adoptaron decisiones adecuadas en ciertos momentos.

Esa dificultad quizá provenga de la propia unidad de energía eléctrica, el kilovatio-hora, o kWh, que es el bien comercializado más efímero que darse pueda. Desde que se genera en una central eléctrica hasta que se consume en una luminaria o en el motor de un ascensor, no pasa más de una milésima de segundo, plazo bien exiguo para intentar regatear el precio; de modo que ya se sabe que llega el recibo a casa mensual o bimestralmente, acompañado de una serie de adiciones (nunca sustracciones) que parecen de tan difícil comprensión como la propia naturaleza de la electricidad; que no es sino una manifestación de la estructura de nuestra materia, que contiene partículas con una propiedad muy específica, que llamamos carga eléctrica, normalmente desapercibida por estar en equilibrio entre unas cargas y otras (positivas y negativas, según la definición que se les dio). Esencialmente una central genera una fuerza electromotriz que rompe ese equilibrio, que implica una gran energía potencial para transformarse en trabajo, en radiación luminosa, o en calor. Y resulta curioso el contraste entre todas esas dificultades intrínsecas, de la factura y del fenómeno físico, y la enorme e instantánea facilidad con la que usamos toda esa potencialidad puesta a nuestro servicio; con un nivel de seguridad impresionante, pues morir por electrocución es un riesgo despreciable frente a cualquier otro, incluyendo el de morir de un sobre-esfuerzo jugando al ajedrez.

Este sobresaliente nivel de seguridad no se da por casualidad, obviamente, sino como resultado del desarrollo tecnológico y su aplicación sistemática a mejorar prestaciones y funcionalidad. Y también se debe al esfuerzo de la Administración para convertir el estado del arte de la Electrotecnia en las disposiciones legales reglamentarias de rigor. Sin ánimo de establecer comparaciones, tan vacuas como odiosas, sí se puede decir que España tiene una trilogía reglamentaria completa y puesta al día, materializada en los Reales Decretos RD 842/2002; RD 223/2008 y RD 337/2014, correspondientes a los «Reglamento de Baja Tensión», «Reglamento de líneas de Alta Tensión» y «Reglamento de instalaciones de Alta Tensión», que son la guía de nuestra seguridad ante los riesgos electrotécnicos.

LA PREHISTORIA DE NUESTRA HISTORIA ‡

En 1900 se había constituido el Ministerio de Agricultura, Industria, Comercio y Obras Públicas, primero que tuvo el epígrafe Industria en su titular. En la Memoria que este Ministerio elaboró en 1901, se detalla que existían en aquel momento 859 fábricas de luz, que sumaban una potencia total de 128.000 caballos de los cuales 61% se alimentaban con ener-

gía térmica, fundamentalmente con motores de gas, y el 39% restante con energía hidráulica, fundamentalmente de molinos de agua próximos a las ciudades. Desde esa situación de principios de siglo se fue transformando el sector eléctrico hasta llegar al estado de finales del siglo XX, caracterizado por la existencia de tan solo cuatro grandes compañías generadoras. Pero tras esa fuerte concentración, justificada por la masa crítica necesaria en equipos humanos y en capacidad inversora, el ámbito de la generación se ha visto alterado en esa evolución por la aparición de la generación distribuida, y de más pequeña potencia unitaria, propiciada sobre todo por las energías renovables, y de modo particular por la eólica, y aún más por la fotovoltaica.

También el mercado final de la Electricidad se ha modificado notablemente en estos últimos años, bajo el impacto de la liberalización de las actividades como acicate para la competencia. En teoría esa inspiración parecía correcta para bajar precios, pero la alteración del mercado puro mediante tarifas primadas, o *feed-in tariffs* y la atomización de un mercado donde millones de pequeños consumidores no disponen de herramientas ni criterio para optimizar su gasto en electricidad, han hecho del sector una entidad casi incomprensible para el gran público; y ésta, y sus derivaciones socio-políticas, es posiblemente el mayor problema de este negocio, pues además se adereza con el espectro del «déficit tarifario», que es un lastre importante para la adecuación de la Electricidad a los importantes cambios que se avecinan en su uso, que seguirá en fuerte expansión, particularmente con la implantación del vehículo eléctrico.

Pero antes de otear el horizonte de esta historia más que centenaria, resulta interesante remontarse a los orígenes y hablar brevemente de nuestros pioneros, y en tal sentido conviene recordar cómo el ingeniero industrial Narciso Xifra, en 1879, instaló las cuatro primeras máquinas Gramme de producción de electricidad en el número 10 de la Rambla de Canaletas de Barcelona, y cómo a partir de ello se fundó en 1881 la Sociedad Española de Electricidad, la primera en su género. Al año siguiente se constituyó en Madrid la «Compañía General de Electricidad, Fuerza y Luz Eléctrica», que iluminaría la Puerta del Sol y el Ministerio de la Guerra; y en 1890 se formaría la Compañía Madrileña de Electricidad; la cual se uniría a la Sociedad de Gasificación Industrial y a la Empresa del Salto de Bolarque para fundar Unión Eléctrica Madrileña en 1912, como ejemplo madrugador de concentración empresarial para conseguir la masa crítica a la que hemos hecho referencia.

En fecha tan temprana como 1918, el padre jesuita Pérez del Pulgar, eminencia del ICAI, ya había propuesto que se estudiara y se implantara una integración global de la red eléctrica española, con respecto total a los activos empresariales de diversas zonas, pero buscando la mayor sinergia entre todos ellos. Esa propuesta fue estudiada y ahondada por la parte, digamos secular, de la ingeniería eléctrica, en lo

cual confluyeron ingenieros de Caminos, como Echarte Industriales, como Artigas, y de Minas, como Urrutia, que propusieron en 1919 la creación de una Red Nacional de Distribución Eléctrica. Propuesta que podría haberse convertido en un Plan Nacional de Electricidad, dado que después de la Guerra Civil se tuvo que abordar de manera consistente, en plena compatibilidad con la existencia de compañías privadas, pero buscando la mayor sinergia entre los centros productivos y el mejor servicio general al país.

En esa época pionera de la industria eléctrica, la peculiar orografía española y el hecho de que los saltos de agua de importancia considerable estuvieran muy lejanos de las ciudades, produjo acciones muy significativas, como el que la primera línea europea de 30.000 voltios se construyera en España, en 1908, por parte de Hidroeléctrica Ibérica, siendo la línea Quintana-Bilbao. Un año después, Hidroeléctrica Española recién fundada por entonces, pues había arrancado su ejecutoria en 1907, construía la línea «Jucar», desde Madrid hasta Valencia, a 66.000 voltios la cual fue también la primera de su tensión en Europa. Las nuevas circunstancias creadas por la Electricidad motivaron que el 23 de marzo de 1900 se aprobara una Ley regulando la servidumbre forzosa de paso de corrientes eléctricas –ya que el tendido eléctrico sobre fondos ajenos no tenía encaje entre las servidumbres legales establecidas en el vigente Código Civil– y el 27 de marzo de 1919 se aprobó el Reglamento que la desarrolló, que en su artículo 1º definió las instalaciones eléctricas.

El suministro eléctrico había de llegar progresivamente a todos los habitantes, y ello lo hacía dependiente de nuestro régimen administrativo. Por Ley de 2 de octubre de 1877, se había autorizado al Ministro de la Gobernación para publicar las Leyes Orgánicas, Municipal y Provincial (de 20 de agosto de 1870) incorporando a su texto las reformas comprendidas en la Ley de 16 de diciembre de 1876 publicándose en la misma fecha un Real Decreto, que en su artículo 72. Primero.2 declaraba de exclusiva competencia de los Ayuntamientos el gobierno y dirección de los intereses peculiares de los pueblos con arreglo al artículo 84.1 de la Constitución de 1874, cuando tenga relación con «el establecimiento y creación de servicios municipales de alumbrado» que en dicha fecha se hacían de gas. La primera iluminación de ese tipo que se había hecho en España había sido el Palacio Real, en tiempos de Fernando VII, siendo obra de José Roura, químico formado en Francia, que años después sería director fundador de la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona, lo que explica la rápida difusión del gas a mediados del XIX en dicha ciudad. Roura obtenía el llamado «gas pobre», mediante reacción de vapor de agua muy caliente con virutas de serrerías. Decenios más tarde, esas tecnologías quedarían relegadas por la iluminación eléctrica.

La declaración formal de servicio público aparece y se recoge formalmente como un instrumento de ca-

ra a garantizar «la seguridad» y los «intereses públicos», gravemente deteriorados por la actitud de algunas compañías, de gas en un principio, luego eléctricas que, con lógica mercantil, lo único que perseguían era la maximización de los beneficios. De ahí que un Real Decreto de 1924 reafirme no sólo el deber de suministrar energía a todo solicitante y de mantener la tensión y frecuencia fijadas en el correspondiente contrato, sino también la potestad tarifaria de la Administración, reconocida por disposiciones anteriores, y sistemáticamente incumplidas hasta entonces. En la Exposición de motivos del Real Decreto de 1924 se justifica pues la intervención administrativa en base a estas cuatro razones: a) las necesidades de la vida moderna; b) las exigencias de la industria; c) las deficiencias en la prestación de tales servicios, que han llegado a provocar, incluso, conflictos de orden público, y d) la necesidad de ocupar terrenos de dominio público con las instalaciones, lo que permite a la Administración exigir a cambio unas condiciones que aseguren a los abonados un suministro regular. Cuatro títulos concretos en los que la Administración trata de apoyarse para justificar un nuevo título de intervención más general y extensa, a la vez que formalmente novedoso: el servicio público.

En esta pre-historia de nuestro Cincuentenario llegamos así al Decreto de 12 de enero de 1951, que introdujo una nota claramente interventora en el funcionamiento general del sistema, además de modificar artículos principales –82 y 83– del Reglamento de Verificaciones de 1933. Dicho Decreto impuso la obligatoriedad de atender al transporte de electricidad a través de las redes de las empresas integradas en lo que se calificaba como Red General Peninsular, cuyas condiciones económicas y tarifarias se fijaban subsidiariamente por el Estado.

EL EMPUJE EMPRESARIAL ‡

Las tendencias de nacionalización que el gobierno y el INI (Instituto Nacional de Industria) planteaban a principios de los años 40 llevó a los empresarios privados a una solución en la que antepusieron, en gran medida, el interés público y nacional a los intereses empresariales privados, creándose un sector eléctrico peculiar y eficiente. El inspirador de esa «vía mixta» fue fundamentalmente don José María de Oriol y Urquijo, a la sazón y durante muchos años presidente de Hidroeléctrica Española. Utilizando sus mismas palabras, «las empresas cedieron voluntariamente parte de su soberanía en la generación, transporte y distribución de energía, para lograr así la máxima utilización de los recursos disponibles. Para hacer eso viable, se estableció como obligatorio, en caso de discrepancia, el arbitraje entre empresas, en el que el árbitro sería una empresa no afectada».

De aquella situación surgió UNESA en 1944, y las empresas eléctricas en aquella etapa pudieron iniciar construcciones importantes de centrales térmicas e hidráulicas gracias al nuevo panorama que se esta-

blecía, de considerable estabilidad, alejado ya el fantasma de la nacionalización. Esta situación, también propició la fusión de Hidroeléctrica Ibérica y Saltos del Duero en una única empresa, IBERDUERO y se clarificó el panorama español de tal manera que la situación se tornó extraordinariamente favorable para nuevas inversiones, llegándose así hasta otro hito importante, el Plan Eléctrico Nacional de 1975, que coincidió con un salto histórico más profundo aún, que fue la reinstauración de la monarquía. En dicho período había tenido lugar el nacimiento de las empresas eléctricas nacionales particularmente en la política de la España de la postguerra. El INI tomó bajo su responsabilidad, desde 1941, el desarrollo industrial del país, sumido en unas notables carencias sociales y económicas, por el deterioro de muchas instalaciones durante la guerra. Se había pasado de una situación, la de 1930, de abundancia de producción sobre una demanda incipiente, a una situación complicada en la que la producción prácticamente se había estancado, y la demanda pugnaba por subir en un país que tenía que ser reconstruido.

El INI se encontró en su afán por penetrar en el sector eléctrico con un aliado natural ciertamente maligno: a partir del verano de 1942 se produjo un estiaje inacabable, que dio lugar a lo que se denominó, con características un tanto sarcásticas, la «pertinaz sequía». Sequía que fue realmente verídica, y que alcanzó su punto fatídico en 1945, produciendo enormes daños no sólo en la electricidad, sino fundamentalmente en el sector agrario y en la alimentación. En los años subsiguientes, que además coincidieron con el aislamiento del país y la época autárquica, las circunstancias de vida en España fueron de enorme dificultad, rayanas en muchos casos en la carencia de alimentos, mucho más elementales vitalmente hablando que los kilovatios-hora. Habida cuenta de que el INI no podía atacar todos los frentes al mismo tiempo, el de la electricidad, que era posiblemente donde menos urgente se necesitaba la intervención estatal, superó los primeros años de la postguerra sin grandes cambios, aunque la pertinaz sequía coadyuvó a la formación de ENDESA, que se especializó en el carbón como fuente energética, y que tuvo en varias etapas una actuación subsidiaria, hasta alcanzar con el tiempo un estatus envidiable que facilitó su privatización.

1964: CAMBIO DE RITMO: PLANIFICACIÓN †

1964, el año en que esta revista inicia su andadura, es también el año en que se pone en marcha el Plan de Desarrollo, que produjo una afluencia económica sin precedentes, facilitada por la mayor o mejor instalación internacional del país en el mundo occidental, y particularmente en la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico). Se consolidan así unos años de fuerte crecimiento del sector eléctrico, que crecía a tasas del 10% anual, lo que representaba duplicar la energía generada cada siete años.

En aquel ambiente de optimismo económico-financiero, las compañías privadas con capacidad de in-

versión, decidieron optar por la energía nuclear como una de las fuentes de base para la producción de electricidad, y ello dio lugar a la primera generación de centrales nucleares compuesta por Zorita, Garoña, y Vandellós, que entraron en funcionamiento en 1969, 1971 y 1972 respectivamente, siendo un ejemplo de solvencia en la asimilación de tecnología. Zorita está ya en fase de desmantelamiento tras casi 40 años de servicio; Garoña funcionó notoriamente bien hasta que ciertas cuestiones impositivas la llevaron a una especie de cierre patronal hace poco más de un año, ya reestablecida; y Vandellós sufrió un grave accidente en 1989, aunque sin consecuencias nucleares ni radiológicas de ningún tipo. Una de las turbinas sufrió un percance fortuito, que provocó el incendio de unos 10.000 litros de aceite lubricante, lo cual arrasó toda la parte convencional de la central. No así la zona nuclear, que fue mantenida íntegra y sin problemas de evacuación del calor de la radiactividad, merced al buen hacer del equipo de operación de la planta. Puede decirse que España es el único país en el que se ha logrado mitigar un accidente nuclear hasta tal punto que no llegó a serlo; lo cual lo logró el equipo de la planta por su enorme pericia y perfecto conocimiento de cómo actuar en toda circunstancia, por grave que fuera. Lo cual es sin duda un buen exponente de la capacidad técnica y compromiso humano del sector nuclear español.

El éxito en la construcción de esa primera generación dio lugar a una segunda, con dos unidades en Lemóniz (Vizcaya), dos en Almaraz (Cáceres), dos en Ascó (Tarragona) y una en Cofrentes (Valencia). Sin lugar a dudas esta segunda generación, de la cual no llegó a ponerse en marcha Lemóniz por la sinrazón terrorista, contribuyó a aliviar el problema energético del país, cuando se presentó la gran crisis del 79 y años subsiguientes.

Ya la primera crisis, del 74, indujo al gobierno a plantear la política energética como una de las cuestiones fundamentales para la economía del país, cuestión ésta que había sido cierta a lo largo de todo el siglo, pero que se evidenció como fundamental en el año citado (1). En el verano de 1973, el precio internacional del barril de petróleo era aproximadamente de 1,62 \$. A principios de 1974, había ascendido a 9,3 \$ por barril. Esa multiplicación por casi un factor 6 había tenido lugar como consecuencia de la guerra de Yom Kipur entre Israel y Egipto, y la reacción del mundo árabe creando la OPEP y estableciendo unas políticas comunes entre los países exportadores de petróleo para fijar precios y producciones. A partir de ese momento, y de manera más acentuada según la aparición de algunas crisis geopolíticas o bélicas, el precio del petróleo ha fluctuado en valores considerablemente altos e incluso más altos que los de 1974 en pesetas constantes. En pesetas corrientes los precios se dispararon hasta alcanzar oficialmente los 35 \$ y de manera real hasta más de 40, durante la guerra entre Iran-Irak empezada en 1979 y acabada diez años después.

El petróleo había sido el vector fundamental energético del desarrollo de España durante los años 60, y

éso no solo hacía referencia al transporte sino también a la producción de energía eléctrica. La nueva situación creada por la OPEP hacía que se tambaleara dicha política y hubiera que buscar vías alternativas para la satisfacción de la demanda eléctrica. En 1977 el Plan Energético nacional, en el cual estaba incluido el Plan Eléctrico, hubo de ser revisado por el problema petrolífero. Se veía que en España seguía creciendo el consumo de petróleo en todos los ámbitos, incluyendo las centrales térmicas. Se había pasado de un consumo de 6 millones de toneladas en centrales de fuel oil en 1973 a más de 10 en el 76, y ello a pesar del aumento de las tarifas petrolíferas internacionales que en 1976 eran 7 veces mayores que las de 1973.

Los gobiernos de UCD tuvieron que ser restrictivos en la planificación energética y en la obligatoriedad de reducir el consumo de petróleo, y al mismo tiempo se vio como la mayor integración de la red eléctrica de alta tensión permitía mejorar sustancialmente el rendimiento global del sistema. A este respecto, téngase en cuenta que en 1960 sólo había 4000 km de líneas a 220.000 voltios, y prácticamente ninguna a 400.000. En 1975, la primera cifra había subido hasta 13.000 y la segunda hasta los 5.000 km. El desarrollo en este ámbito iba a ser imparable, favoreciendo básicamente la muy alta tensión, por lo que en 1990 se llegaron a 15.500 km de 220 kilovoltios, y a 13.000 a 400 kilovoltios. Eso llevó a la creación de Aselétrica, Asociación de empresas para la explotación del sector eléctrico, y la asignación de mayores responsabilidades de gestión al CECOEL, Centro de Control Eléctrico, que en 1975 había sustituido ya al RECA, Repartidor de Cargas, creado junto a UNESA.

Ante el segundo *shock* petrolífero iniciado en 1979, se reaccionó con el Plan Acelerado del Carbón, mayoritariamente orientado a construir centrales eléctricas para funcionamiento con carbón de importación, y que permitió que España no se encontrara con déficit de oferta eléctrica, sino al revés, durante los años 80 y 90 e incluso hasta final de siglo.

FACTOR HUMANO Y TECNOLOGÍA ¶

En España, el primer gran libro de electrotecnia de muy alto nivel es la «Electrodinámica Industrial» de don Francisco de Rojas y Caballero-Infante, Ingeniero Industrial de la 1ª promoción del Real Instituto Industrial de Madrid (1855) y catedrático de la Escuela Industrial de Barcelona, en cuyo Gabinete de Física Aplicada montó el primer circuito proto-industrial de generación y consumo de electricidad, en el cual colaboraría su más dilecto alumno, Narciso Xifra, ingeniero creador de lo que sería nuestra primera central eléctrica. Gracias a la «Electrodinámica Industrial» de Rojas, de la que se hicieron cuatro ediciones, el nivel formativo en España en materia de Electricidad fue siempre muy bueno; y ese ha sido un factor de éxito notable, pues la electricidad es una mercancía que no te deja tiempo para pensar tumbado, sino

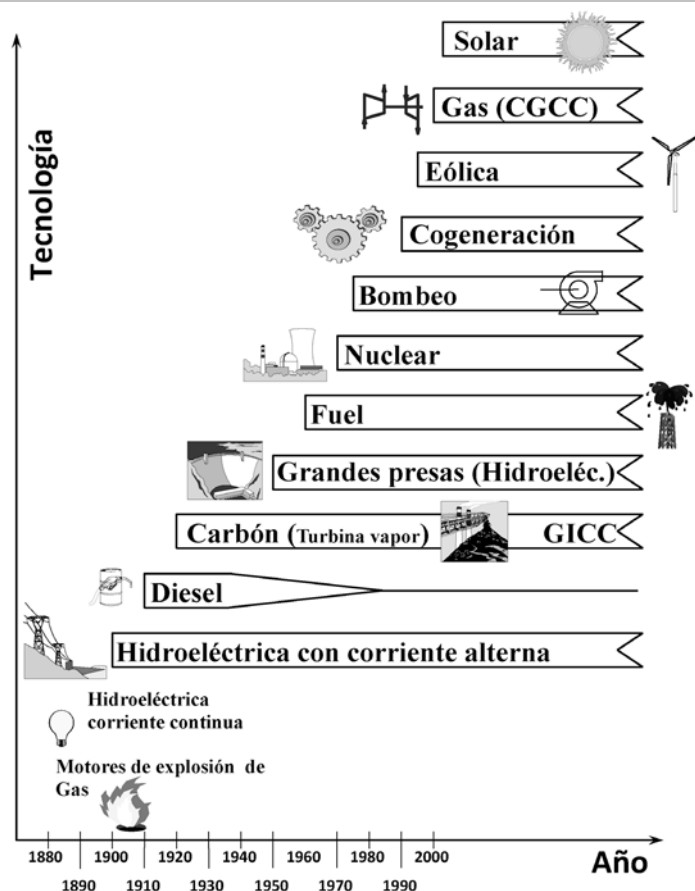
que exige vastos conocimientos y saberlos aplicar de inmediato. Y esta diligencia docente se extiende también a las diversas fuentes de energía utilizables para la generación de electricidad que, como se ve en el cuadro siguiente, han abarcado a lo largo del tiempo una gran variedad de procesos y de materias primas.

Las primeras dinamos para generar electricidad fueron movidas por máquinas de vapor, es decir, por ciclo termodinámico, que a su vez necesitan un foco calorífico del cual se extrae la energía. A este tipo de instalaciones se les denomina centrales térmicas, y a su vez se subclasifican en función del tipo de combustible del que se extrae la energía en el foco calorífico. Así aparecen las centrales de carbón, de gasóleo (diesel), de fuelóleo, de gas, todas ellas con combustible químico, y cada uno con su ciclo termodinámico más adecuado que puede ser de producción de vapor de agua (caso del carbón, del fuelóleo y algunas de gas) o con motor de explosión (diesel) o con ciclo de expansión directa de los humos de la combustión (gas de alta temperatura).

Una central térmica peculiar, donde no hay combustión química sino reacciones nucleares, es la central nuclear, cuyo reactor es el foco calorífico. Como las reacciones nucleares son un mecanismo energético hiperpotente –que da vida a la evolución física de las estrellas, incluido el sol– necesitan muy poco combustible en comparación con las térmicas convencionales. Por ejemplo, una central de carbón de 1.000 millones de vatios (eléctricos) consume del orden de 2 millones de toneladas de hulla al año, mientras que una central nuclear no llega a requerir más allá de 30 toneladas de uranio enriquecido, y de éstas realmente, solo ha consumido en verdad un 4% aproximadamente, es decir, 1,2 toneladas (ver figura 1 en página siguiente).

En el sector eléctrico se ha procurado aprovechar las tecnologías disponibles que mejor se ajustaban a una cobertura eficiente y económica de la demanda. Es uno de los ámbitos donde la actualización tecnológica ha sido más permanente. La figura 1 muestra la evolución de los modos de generación de energía eléctrica da idea de que es una sucesión de oleadas, y en un momento dado todo son grandes presas, en otro es toda la inversión dedicada a carbón, se pasa por lo nuclear, se llega a los ciclos combinados... y en cada etapa todas las compañías muestran un perfil similar de inversiones, si bien el resultado no es igual en todas. En el caso de las centrales nucleares, y no es ejemplo único, hubo varias empresas que literalmente naufragaron ante la complejidad de los proyectos, que en algunos casos no fueron regidos ni por la adecuada disciplina económica ni por el necesario rigor técnico. Sin embargo, superadas esas etapas de depuración de compañías insolventes, y el factor de disponibilidad de las centrales nucleares españolas ha estado en general en el grupo de cabeza de los cinco o seis países con mejor clasificación en ese factor.

FIGURA 1
EVOLUCIÓN EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA



FUENTE: Elaboración propia.

La cuestión de las oleadas ha tenido el curioso efecto de que España tiene un parque de generación muy misceláneo, como consecuencia de la agregación de activos, que en general duran muchos años, del orden de 40, aunque haya que hacer mantenimiento y actualizaciones de equipos. Esas oleadas son consecuencia de que, en un momento dado, con el estado del arte imperante y las condiciones de financiación de proyectos, normalmente es una modalidad la que triunfa en una evaluación aséptica sobre el tema, si bien en algunos casos se añaden otros condicionantes, que pueden sesgar la toma de decisiones.

Este proceso de decidir en qué modalidad invertir debería haberse abierto más notoriamente con la liberalización del sector desde fines del siglo XX; pero la realidad es que se ha agudizado el monocultivo, y en España en estos últimos quince años, aparte del desarrollo de las renovables estimulado por un generoso marco de primas a la producción, tuvo lugar una notable capacidad inversora en Centrales de Gas de Ciclo Combinado. En la actualidad, sin embargo, nos encontramos con un exceso de oferta que tiene al sector sumido en una crisis económico-financiera de grandes proporciones, y compleja solución.

Lo cierto es que la liberalización del sector, que en teoría se emancipaba de la planificación estatal y se limitaba a una planificación indicativa, no lo ha hecho tan competitivo, como sería exigible. Todas las grandes generadoras tienen parques bastante similares, y además se han visto desplazadas por el incremento notabilísimo de generación renovable, sobre todo eólica, aunque también solar.

LAS CRISIS INTERIORES: MÁS PLANES

La llegada al poder del Partido Socialista a finales de 1982, con mayoría más que absoluta en las cámaras, produjo amplios cambios en el sector eléctrico, aunque ninguno de ellos fue de calado tan hondo como podían haber hecho prever las posturas del PSOE en sus planteamientos programáticos previos, más doctrinarios que conscientes de una ulterior responsabilidad de gobierno. Pronto se decartó, no obstante, una posible nacionalización total del sector eléctrico.

En 1983 se firmó un protocolo entre el gobierno y el sector eléctrico, y en 1985 se llegó a la materialización de ese protocolo mediante la aprobación del

R.D. 91/1985 de creación de la empresa mixta, con capital mayoritariamente público, Red Eléctrica de España, S.A. a la que se encomendó la gestión del servicio público de la explotación unificada del sistema eléctrico nacional a través de la red de alta tensión. Curiosamente se llegaba de esa manera a lo que 70 años antes había propuesto el padre Pérez del Pulgar y habían analizado Artigas, Echarte y otros ingenieros electrotécnicos que entendieron claramente como la electricidad, para ser un sistema fiable y sinérgico, así como optimizado, debía tender a una implantación global en España de tipo reticular y fuertemente entrelazada

En los dos últimos decenios del siglo XX se produjeron en el ámbito eléctrico una sucesión de redefiniciones estructurales que de manera muy sucinta conviene comentar. El gobierno socialista rediseñó el plan energético nacional en el PEN-83, que incluyó la moratoria nuclear, y en 1987 se estableció el llamado Marco Legal Estable, con objeto de regular el funcionamiento del sistema de generación, fijando unos mecanismos para determinar precios y tarifas en los intercambios de producción entre empresas. Uno de los objetivos del MLE era el de reducir las incertidumbres de las empresas respecto a sus ingresos, pero ello era función de la eficiencia que se hubiera tenido en la construcción de las plantas generadoras, y en la solvencia técnico-económica explotando éstas; lo cual motivó considerables diferencias de disponibilidad financiera, que llevó a un importante «intercambio de activos», que a la postre se convirtió en la adquisición por parte de la empresa nacional de electricidad ENDESA, de una parte importante de las compañías privadas de electricidad, incluso algunas de las clásicas o centenarias. Cabe recordar que en 1990 la potencia total del Grupo ENDESA era de 10.242 MW y la producción ascendió a 48.146 GWh. En porcentaje, ello significó 22,3% de la potencia instalada, y 31,5% de la energía producida. En el año 2000, estos porcentajes subieron a 39,8 y 42,8 respectivamente, con una potencia total instalada de 22.098 MW y una producción en ese año de 96.126 GWh.

Es de señalar que el factor de disponibilidad de las centrales de carbón de ENDESA había cambiado radicalmente desde mediados de los 70 (en que poco excedía del 70%) a mediados de los 80, en los que llegó al 90%. Esa fue la base de empezar a verter kilovatios-hora a la red de manera continua, con su lógico reflejo en la cuenta de resultados. Curiosamente, una empresa que había nacido bajo inspiración autárquica y se había tenido que conformar con un papel subsidiario, se terminaba convirtiendo en el bloque más potente del sector.

Así pues, en el año 1987 quedó instaurado por Decreto-Ley un nuevo régimen tarifario denominado ambiciosamente «Marco Legal y Estable», rúbrica bajo la que se aglutina el conjunto de nuevas disposiciones que determinarán, a partir de dicho momento, la metodología de cálculo del precio medio de venta de la energía eléctrica y del sistema de compensaciones, es decir, de ingresos entre empresas. Este marco nor-

mativo parte de dos disposiciones previas que vinieron a fijar ex novo la estructura tarifaria binómica (es decir, cuota fija o término de potencia y cuota o término variable proporcional al consumo de energía) y los complementos tarifarios correspondientes (interrumpibilidad, estacionalidad, energía reactiva, etc.).

Con el denominado «Marco Legal Estable» se pretendía configurar un procedimiento estable para la retribución de las empresas generadoras que asegurase su suficiencia económica en condiciones virtuales de equilibrio concesional, dado que el sistema se apoyaba en una tarifa única, que contemplaba a su vez el diferimiento a largo plazo de una buena parte de sus ingresos garantizando como compensación, el derecho a percibir una remuneración equivalente a los costes incurridos en la prestación del servicio. Para el cálculo de estos costes se tomaron como base los valores contables de los activos.

En diciembre de 1993 se firmó el Protocolo de intenciones de las compañías eléctricas integradas en UNESA sobre intercambio de activos complementarios a las medidas de modernización del Marco Legal Estable, en el que se señala "que la actual ordenación del Sistema Eléctrico Español descansa sobre dos pilares básicos: la Ley 29/1984 de Explotación Unificada y el marco de retribución definido por el Real Decreto 1538/87 y sus normas de desarrollo (Marco Legal Estable)". Ese descanso y esa estabilidad serían sin embargo muy efímeros.

SPAIN IS NO LONGER DIFFERENT: LA UNIÓN EUROPEA ▼

La integración de España en la Comunidad Europea en 1986 no supuso un cambio ni profundo ni inmediato de nuestro sector eléctrico, pues la política energética era de soberanía nacional, y en la propia CE convivían varios modelos de estructura eléctrica, siendo muy notable la presencia de grandes empresas públicas europeas que actuaban como monopolios públicos de titularidad estatal, o «Establecimientos públicos estatales», tal es el caso paradigmático de Electricité de France. No obstante, a medio y largo plazo era imparable una doble tendencia de la Comunidad, que pronto se convertiría en UE: la ampliación hacia el Este; y, previamente, el fortalecimiento de políticas integradoras, como la del Mercado Único; y, con ello, el establecimiento de Directivas, generalmente de naturaleza medioambiental, pero con fuerte repercusión en la política energética, como la Directiva de Grandes Unidades de Combustión, la de Techos de Emisión (afectando ambas fundamentalmente a las centrales de carbón).

Debe tenerse previamente en cuenta que la Unión Europea es una comunidad jurídica y energética. Es, en cierto sentido, un doble proceso: de voluntad política determinada; y de creación y aplicación de principios y normas jurídicas. Y la base material de creación política y jurídica europea es el método de integración funcional expresado en los Tratados fundacionales, dos de los cuales versan sobre la realidad energética.

Las características del orden jurídico comunitario han sido definidas por el Tribunal de Justicia en numerosas sentencias ya desde los primeros años de su creación, mereciendo destacarse, en la primera etapa, las consideraciones expresadas en Costa/ENEL, –que consideró, además, por vez primera en la historia comunitaria, a la electricidad como una mercancía– según la cual, los Estados miembros «al constituir una Comunidad de duración ilimitada dotada de instituciones propias, de personalidad, de capacidad jurídica, de capacidad de representación internacional y, más particularmente, de poderes reales nacidos de una limitación de competencias o de una transferencia de atribuciones de los Estados a la Comunidad, éstos han limitado, aunque en ámbitos restringidos, sus derechos soberanos y han creado un cuerpo de derecho aplicable a sus súbditos y a ellos mismos».

En consecuencia, el Derecho comunitario constituye un ordenamiento jurídico propio, surgido de una fuente autónoma, que por su naturaleza específica original, no puede «dejarse oponer judicialmente un texto interno de cualquier clase que sea sin perder su carácter comunitario y sin cuestionarse la base jurídica misma de la Comunidad», pues la transferencia operada por los Estados, de su orden jurídico interno en beneficio del orden jurídico comunitario, de derechos y obligaciones que corresponden a las disposiciones del Tratado, implica por tanto una limitación definitiva de sus derechos soberanos, contra la cual no podría prevalecer un acto unilateral incompatible con la noción de la Comunidad.

Se iniciaba así un camino nuevo en el ámbito de integración de las relaciones jurídicas supraestatales, en beneficio de la creación de un sistema jurídico independiente y supranacional que, como ha señalado Mengozzi, se expresa a través de una evolución escalonada, condicionada en su punto de partida por el difícil equilibrio que busca todo el proceso de integración europea «entre la exigencia de no comprometer en exceso la soberanía de los Estados miembros y la de conceder cuanto sea necesario para seguir con la tendencia del mismo proceso de integración a modularse según criterios de supranacionalidad».

Los aires liberalizadores en Europa en el ámbito eléctrico, que llevarían al establecimiento de la Directiva 96-92 de la U.E. sobre el funcionamiento de los mercados internos de electricidad, hicieron que el último gobierno del PSOE en el siglo XX aprobara la LOSEN, ley de Ordenación del Sistema Eléctrico Nacional, que obligaba a separar legal y contablemente las actividades de generación y distribución de las empresas eléctricas, para poder implantar de manera más sinérgica y optimizada el funcionamiento del sistema eléctrico como un todo. También se creó la Comisión Nacional del Sistema Eléctrico, como Agencia reguladora independiente para optimizar el funcionamiento de este sistema en su conjunto. Dicha ley fue sin embargo criticada por incompleta, y el paso decisivo a la liberalización lo introdujo el gobierno del Partido Popular con la promulgación de la Ley Eléctrica de diciembre de 1997 (Ley 54/1997) en la que se

creó un mercado mayorista de electricidad donde los generadores han de subastar su producción cada media hora, dando el precio de la subasta el día anterior en función de sus previsiones, y estando ello regulado por una Compañía Operadora del Mercado, que tiene por objeto casar las ofertas y las demandas, siendo éstas presentadas por las compañías de distribución de electricidad.

El propósito liberalizador de la nueva Ley del sector de 1997 manifiesta una clara determinación por transponer la norma europea, sobrepasando algunas de sus exigencias, como pone de relieve, en primer lugar, su propia «Exposición de Motivos». Así, al describir el espíritu que le anima y sus contenidos principales, se lee que la norma pretende «acotar la actuación del Estado en el sector», alterando el signo de la regulación preexistente a tales efectos en tres aspectos principales:

- a) Mediante el abandono de la noción de servicio público, «sustituyéndola por la expresa garantía del suministro a todos los consumidores demandantes del servicio (que se convierte así en servicio universal) dentro del territorio nacional».
- b) Como consecuencia directa de lo anterior, cancelando la configuración institucional que apoyaba el modelo de la explotación unificada, desdoblando claramente la gestión económica (que abandona las posibilidades de una optimización teórica para basarse en las decisiones de los agentes económicos en el marco de un mercado mayorista organizado de electricidad), del despacho técnico.
- c) Limitando al alcance de la planificación estatal «restringida a las instalaciones de transporte», que tendrá en las restantes áreas de regulación, carácter indicativo.

Si bien en apariencia los objetivos básicos de la regulación eléctrica de la Ley del noventa y siete y su precedente del noventa y cuatro son coincidentes al pretender una triple garantía básica del suministro eléctrico: seguridad, calidad y menor coste; grupo de objetivos al que la Ley vigente añade la protección del medio ambiente «... sin olvidar la protección del medio ambiente»; los fines e instrumentos que enmarcan tales objetivos son sustancialmente diferentes. Así, mientras para la LOSEN «la trascendencia social y económica del suministro eléctrico ha justificado una intensa intervención administrativa» que se refleja entre otros aspectos determinantes en que «la Ley no altera los principios generales de regulación de la explotación unificada del sistema eléctrico nacional establecidos en la Ley 49/1984». La Ley posterior subraya que su «propósito liberalizador no se limita a acotar de forma más estricta la actuación del Estado en el sector eléctrico sino a introducir cambios importantes en su regulación».

EL DESAFÍO RENOVABLE Y EL DÉFICIT TARIFARIO ↓

España, que prácticamente no posee recursos minerales energéticos de tipo fósil, tiene sin embargo una naturaleza y un clima que la hacen relativamen-

CUADRO 1
EVOLUCIÓN ANUAL DE LA POTENCIA INSTALADA (MW)

	Potencia contratada a 31 de diciembre				
	2004	2007	2008	2009	2010
Hidráulica convencional y mixta	14.752	14.759	14.807	14.807	14.814
Bombeo puro	2.747	2.747	2.747	2.747	2.747
Hidráulica	17.499	17.505	17.554	17.554	17.561
Nuclear	7.716	7.716	7.716	7.716	7.777
Carbón	11.424	11.356	11.359	11.359	11.380
Fuel/gas	6.647	4.768	4.401	3.008	2.860
Ciclo combinado	15.504	20.962	21.677	23.066	25.235
Total régimen ordinario	58.790	42.308	62.706	62.702	64.813
Hidráulica	1.786	1.887	1.940	1.981	1.991
Eólica	11.521	14.667	16.148	18.961	20.057
Solar Fotovoltaica	142	652	2.961	3.051	3.458
Solar Termoeléctrica	11	11	61	282	682
Otras renovables	798	810	850	999	1.050
No renovables	5.869	5.988	6.249	6.585	6.992
Total régimen especial	20.127	24.015	28.209	31.859	34.230
Total	78.917	86.323	90.915	94.561	99.043

FUENTE: Red Eléctrica Española (REE).

te rica en energías renovables, fundamentalmente eólica y solar. Esta a su vez puede explotarse de dos formas para la generación de electricidad: termosolar (que corresponde a un tipo singular de central térmica, sin combustión) y fotovoltaica, que se basa en la interacción directa de los fotones solares con un diodo semiconductor. Tiene por tanto el inconveniente de requerir la fabricación de un dispositivo de estado sólido que requiere mucha energía en ese proceso, aparte de limpieza a nivel atómico. Por el contrario, tiene la enorme ventaja de no necesitar agua para su refrigeración, como sí la necesitan las centrales térmicas, que podrían refrigerarse con aire, pero resultaría caro de inversión, menos eficiente, y con mayor gasto operativo. De esa ventaja se deriva otra muy importante: puede ubicarse en cualquier sitio, lo que la configura como el paradigma de la llamada «generación distribuida». En párrafos anteriores se señaló que a lo largo del siglo XX las compañías generadoras habían pasado de casi mil a prácticamente cuatro. Pues bien, la generación distribuida, con un diseño defectuoso en esta primera etapa regulatoria en España, ha motivado, primero con los parques eólicos, moderadamente, y luego con la fotovoltaica, una multiplicación enorme del número de compañías generadoras, que solo en fotovoltaica pasan de 50.000, aunque todas ellas de pequeña o muy pequeña potencia.

En los cuadros 1 y 2 se muestra la evolución de la potencia eléctrica y de la energía generada en el lustro de la crisis, pudiendo hablarse de un antes y un después de dicha etapa, pues lo ocurrido en ese lustro va a pesar durante decenios en la equidad económica del sector eléctrico; que por un lado entró en la senda de la de la liberalización para incremen-

tar la competitividad y bajar los precios, y por el otro se encontró inmerso en una serie de compromisos financieros para la promoción de las renovables, que su cumplimiento requería tal incremento de precios, que se optó por crear un «déficit tarifario» para dejarlo en curiosa herencia no se sabe bien a quién: si a los contribuyentes en general; o a los usuarios eléctricos precisamente.

Los efectos colaterales del despliegue desarrollado de las renovables que fomentó el gobierno, identificados en el artículo «*Collateral effects of renewable energies deployment in Spain: Impact on thermal power plants performance and management*» de Fermín Moreno y J.M. Martínez-Val, en la revista *Energy Policy*, Vol. 39, páginas 6561-6574 (2011) donde se señala que siendo necesaria cierta potencia de respaldo firme (como es el gas) la política de primas establecida hacía que se realimentara el desequilibrio entre las centrales de gas, que supuestamente iban a modernizar nuestro parque y operaban tan solo una pequeña fracción del año, y el resto del parque, que por una u otra causa técnica o reglamentaria, encontraba una tabla de salvación. Lo paradójico es que muchas de estas centrales ya están amortizadas, y las nuevas de gas, que no están ni empezadas a amortizar (casi) no encuentran nicho tecnocómico para trabajar el número de horas que al mes necesitan, ni va a ser fácil que lo encuentren. Puede decirse, en todo caso, que a las tecnologías renovables les aguarda un encaje indiscutible y positivo en el balance energético nacional, pero modificando sustancialmente la regulación de partida.

Debe tenerse en cuenta que estas tecnologías han experimentado un espectacular incremento en

CUADRO 2
EVOLUCIÓN ANUAL DE LA POTENCIA INSTALADA (MW)

	2004	2007	2008	2009	2010	%10/09
Hidráulica	25.330	26.352	21.428	23.862	38.653	62,00
Nuclear	60.126	55.102	58.973	52.761	61.990	17,50
Carbón	66.006	71.833	46.275	33.862	22.097	-34,70
Fuel/gas	5.905	2.397	2.378	2.082	1.825	-12,40
Ciclo combinado	63.506	68.139	91.286	78.279	64.604	-17,50
Régimen ordinario	220.873	223.823	220.361	190.844	189.169	-0,90
Consumos en generación	-8.904	-8.753	-8.338	-7.117	6.673	-6,20
Régimen especial	51.633	57.548	68.045	80.353	90.903	13,10
Hidráulica	4.149	4.125	4.638	5.474	6.811	24,40
Eólica	22.881	27.269	31.758	37.401	43.355	15,90
Solar Fotovoltaica	182	463	2.406	5.896	6.027	2,20
Solar Termoeléctrica	0	8	15	103	692	569,50
Otras renovables	3.758	4.121	4.463	4.689	4.981	6,20
No renovables	20.744	21.582	24.764	26.788	29.036	8,40
Generación neta	263.602	272.619	280.048	244.082	273.399	3,50
Consumos en bombeo	-5.307	-4.432	-3.803	-3.794	-4.458	17,50
Intercambios internacionales	-2.273	-5.750	-11.040	-8.086	-8.333	3,00
Demanda (b.c.)	255.022	262.436	265.206	252.201	260.609	3,30

FUENTE: Red Eléctrica Española (REE).

nuestro *mix* de generación eléctrica, al pasar desde el año 1998 de una producción de 19.615 GWh y una penetración en el mercado del 11,3%, a una producción de más de 92.352 GWh, que representa, en 2011, el 35% de la electricidad bruta generada.

En nuestra opinión, puede ser útil distinguir cuatro períodos para explicar la evolución del régimen jurídico de las renovables estos últimos años: a) Uno de «transición», desde la entrada en vigor de la Ley del Sector Eléctrico hasta el Real Decreto 436/2004; b) Otro de «consolidación», que culminaría con la aprobación del Decreto-Ley 6/2007; c) El tercer período sería de «expansión», hasta la aprobación del Real Decreto-Ley 14/2010; d) Y, por último, el «cierre del ciclo» de primas, que finaliza, tras la entrada del citado Real Decreto 14/2010, con la aprobación del Real Decreto-Ley 1/2012, que suspende transitoriamente la aplicación del régimen económico financiero.

La aprobación del Real Decreto 661/2007 coincide con el *boom* sectorial, que afirma un régimen retributivo casi automático, bajo el principio de irretroactividad. Impulso empresarial que no fue adecuadamente controlado financieramente debido al error conceptual de disociar la atribución de competencias entre la Administración responsable de la autorización de la instalación, y la responsable de su sostenibilidad económica y financiera. Este hecho se intentó remediar con la aprobación e instauración por varios Reales Decretos 1578/2008, y Real Decreto 6/2009, sobre mecanismo de preasignación. El ciclo culmina, finalmente, con la aprobación del Real Decreto-Ley 1/2012 que suspende la aplicación del régimen económico financiero para las nuevas instalaciones.

Por otro lado, resulta evidente que el desfase patrimonial gigantesco entre ingresos y costes regulados, debía ser sofocado legislativamente si no se quería causar un daño irreparable en el marco financiero del sector, con grave perjuicio para el Estado, operadores y consumidores. En tal sentido, fue necesaria la reforma parcial de la Ley 54/97, tanto por el Real Decreto de sostenibilidad financiera, como con la aprobación de una nueva Ley, cuyo contenido esencial no fue otro que el de incorporar el pilar de la sostenibilidad financiera en la regulación del sector eléctrico, y evitar a futuro nuevos desfases de las magnitudes señaladas.

OTEANDO LA ELECTRIFICACIÓN CRECIENTE ↓

Luz, fuerza y calor fueron desde el principio las aplicaciones en las que la energía eléctrica plasmó sus enormes capacidades. Con el tiempo, la energía eléctrica también se aprovecharía por sus peculiaridades para producir ondas electromagnéticas que llevaran señales inteligibles, dando lugar a la telegrafía sin hilos y a la radiotransmisión que tan generalizadamente se ha impuesto en nuestra sociedad; que está absolutamente habituada a recargar el móvil. Y para recargarlo, no hay otra opción que enchufar la batería a una red eléctrica. Esta acción de «recargar» muy posiblemente se extenderá a un ámbito que puede representar, y debe representar, una revolución socioeconómica de raíz tecnológica: el vehículo eléctrico.

Aunque el vehículo eléctrico encuentre aún mucho escepticismo entre legos en la materia, lo cierto es que las enormes ventajas que su despliegue comple-

to comportaría en el medio ambiente local y global, en la eficiencia energética, en la balanza de pagos y en el bolsillo del consumidor, son cada día más asequibles debido a la incorporación de ciertas tecnologías críticas que ya están operativas, aunque sea grande aún el trecho que queda hasta su madurez total industrial y comercial. Los automóviles de propulsión eléctrica todavía tienen que superar barreras importantes que afectan a su autonomía, la durabilidad de las baterías y el coste de los mismos, más el despliegue de infraestructura de recarga y la adopción de modos de gestión de la generación de electricidad, para satisfacer una demanda de mucha mayor complejidad que las actividades actuales en estos campos. Si la tecnología tiene éxito en esta búsqueda, las siguientes consecuencias pueden cambiar en profundidad nuestro escenario de la vida:

✓ Aumento de la eficiencia energética global en el transporte en vehículo, por lo que para satisfacer la misma necesidad de transporte, el consumo de energía se reduciría a menos de la mitad del valor actual (incluso si se utilizan hidrocarburos exclusivamente en la generación de electricidad).

✓ Drástica reducción, a menos de un tercio de los valores actuales, en las emisiones totales de CO₂, contando todo el ciclo de vida.

✓ Reducción, aún mayor, de contaminantes locales, especialmente micropartículas.

✓ Menor coste de combustible en el coche, con reducciones por un factor de tres o más (que debería permitir compensar la inversión inicial mayor, incluso si es 50% mayor que la de un automóvil con motor de combustión interna, contando el precio de la batería).

Para ilustrar estas espectaculares ventajas, tomemos el ejemplo de un automóvil medio de gasolina, en un circuito urbano moderadamente congestionado, con un consumo real de 10 litros cada 100 km. Esto significa 70 gramos / km, lo que equivale a 0,66 moles de octano por kilómetro, lo que implica la emisión de 5 moles de CO₂ en números redondos, por kilómetro, lo que significa un flujo de masa de 220 g / km (esto es casi el doble de los valores requeridos para los nuevos coches de la legislación de la UE, pero estos valores «administrativos» se refieren a las condiciones de funcionamiento ideales, en los que el consumo disminuye a 6 litros a los 100 km o menos, que transmite las emisiones de 130 g / km o menos). El valor de la energía mecánica para propulsar un auto promedio es de 0,12 kWh, es decir, 0,432 MJ. La carga de calor en la combustión de 70 g de la gasolina es de 700 kcal, equivalente a 2,92 MJ, lo que indica que la eficiencia real del automóvil en ese tipo de conducción y tráfico es 15% (el rendimiento óptimo del motor en su mejor régimen, es casi el doble de 28%, pero las ineficiencias del motor fuera de su funcionamiento óptimo, más los períodos ociosos hacen que la cifra baje a ese valor).

Un motor eléctrico tiene la ventaja de no tener períodos de inactividad, ya que se detiene cuando el coche se detiene. Y su rendimiento es muy alto para la mayoría de los regímenes del sistema, que está finamente controlado por electrónica de potencia. En promedio se puede soportar un rendimiento del 88%, que debe ser multiplicado por el rendimiento de carga y descarga de la batería, que se puede estimar conservadoramente en 75%, lo que hace una eficiencia global del 66%. Por lo que su consumo (de la red eléctrica) es 0,18 kWh eléctrico, por cada kilómetro recorrido. Hay que añadir las pérdidas en la red de generación en las antiguas figuras, que se pueden estimar del 10%, lo que termina con la generación de 0,2 kWh en el sistema eléctrico para satisfacer de 1 km de los viajes en coche.

Imagínese un octano quemado en un ciclo combinado Brayton + Rankine, donde se alcanza 60% de rendimiento y en un futuro cercano 70%. Tomando esta última cifra, que representa mejor el futuro, llegamos a un consumo de energía primaria de 0,28 kWh por km recorrido, después, en coche, lo que equivale a 1 MJ. Esto significa que tendríamos que quemar 24 gramos de octanaje en una planta de energía eléctrica para producir la electricidad necesaria, poco más de un tercio del consumo directo de un coche de gasolina.

Del mismo modo ocurre con la generación de CO₂, que se redujo de 220 g/km a 75, contando toda la cadena energética (excepto antes de la llegada de la gasolina, que no se contabiliza en el motor de combustión ni en el eléctrico). Pero es inevitable señalar que las emisiones de CO₂ sería mucho menor si las baterías se recargan con electricidad de origen nuclear o renovables, donde las emisiones, contando todo el ciclo de vida, se encuentran en el rango de 30 a 40 g/kWh (elec.) lo que significa que las emisiones del vehículo eléctrico son 10 g/km, es decir, una vigésima parte de la emitida por el vehículo de combustión.

En cuanto al coste para el usuario, con un precio en el mercado nacional eléctrico de 20 c € / kWh (elec) el coste por kilómetro sería de 3,6 c €/km, y por lo tanto, € 3.6 por cada 100 kilómetros. Con la gasolina a 1,5 €/litro, 10 litros por 100 km en un coche característico, el costo aumentaría a 15 € por cada 100 km, es decir, 4 veces, (aunque este valor incluye la carga tributaria muy alta a la gasolina). En 100.000 kilómetros el coche eléctrico se ahorraría más de 11.000 €, que en principio debería compensar el coste de la gran batería y los sistemas auxiliares.

En resumen, la mayor limpieza del medio ambiente en ambos contaminantes locales y globales, el aumento de la eficiencia energética del transporte en automóvil y el impacto económico positivo en el bolsillo del consumidor, señalan que el coche eléctrico es un reto que hay que resolver, pero sobre todo una promesa por conquistar.

Por ello, el despliegue del vehículo eléctrico, que es esencialmente de transporte urbano, que a su vez es

el que ocupa más del 80% de los desplazamientos de la población, tendría un notable efecto positivo, además, en el equilibrio de nuestro parque de generación. Contando simplemente con lo que hay hoy disponible, en España «cabrían» unos 7 millones de vehículos eléctricos, que aprovecharían toda la energía renovable que a veces (por la noche, con la eólica) es excedentaria y haría trabajar a los Ciclos combinados unas 6.000 horas/año, lo cual representaría un perfecto ajuste entre oferta y demanda. A su vez representaría un ahorro de unos 15.000 millones de euros en productos petrolíferos, cifra notoriamente más alta que las importaciones necesarias de gas natural, que serían de unos 3.000 millones.

España es un país fabricante de automóviles de primera talla, siendo también muy importante la industria auxiliar y toda la cadena de aprovisionamiento. Esas potencialidades tendrán que extenderse hacia las modalidades nuevas de fabricación que comporte el vehículo eléctrico, para lo cual nuestro país no puede quedarse rezagado ni en investigación, ni en acuerdos tecnológicos. El tema de la tracción eléctrica ya ha tenido en España un éxito notorio con el tren de alta velocidad, AVE, que al ir encarrilado puede ir a su vez directamente en contacto con su propia red eléctrica, dependiente de la red general de alta tensión. Quizá sea útil explicar concisamente que la fuerza se ejercita por parte de la electricidad de manera similar a como se produce su generación, pero invirtiendo los papeles de los protagonistas. En un generador eléctrico, una fuerza externa al sistema, por ejemplo hidráulica, realiza un trabajo mecánico sobre unas espiras que se mueven en un campo magnético creado por un electroimán, apareciendo la llamada «fuerza electro-motriz» en dichas espiras, desde las cuales parten los conductores que llevan la electricidad hacia los consumidores. Uno de los consumos es activar un motor eléctrico (en el ascensor, la lavadora, el aire acondicionado, y un largo etcétera) donde la potencia eléctrica (el producto de la intensidad de la corriente por su voltaje) alimenta a otras espiras que, en el seno de un campo magnético también generado por la electricidad, haciendo que esta espiras giren, realizando un trabajo.

Aparte del vehículo eléctrico, ya comentado, el futuro deparará otros desafíos, como el almacenamiento

energético, del cual el más difícil posiblemente sea el eléctrico. Los avances en ese campo contribuirán a que se mejore la «gestión de la demanda», que es una asignatura pendiente de notoria entidad. No deja de ser llamativa la coincidencia (causal, no casual) de que en 1964, el año en que comenzaba su andadura esta Revista, se instituyó el Salón Nacional de la Electrificación. Se estaba en los albores de una verdadera revolución socio-económica: pasar de la España de los apagones a la de un consumo considerable y garantizado de electricidad.

De aquel Salón aparecieron diversas ampliaciones y variaciones, que se han ido extendiendo en cantidad y calidad. Una de sus ramificaciones fue, por ejemplo, la feria dedicada a material eléctrico, MATELEC, que comenzó en 1982 como parte de ese salón, y poco a poco fue identificándose como una feria monográfica de dicho material, que permea por toda nuestra sociedad.

CONCLUSIONES

La Electricidad es prácticamente ubicua en nuestra sociedad, incluso en las ondas electromagnéticas de tele-transmisión, y resulta imposible aquilatar los efectos positivos que nos ha producido, a nivel personal y colectivo, en bienestar y confort, y en productividad; y esto ha sido especialmente verdad en los últimos 50 años, conmemorados en este número. Una mirada prospectiva a los próximos cincuenta nos permite atisbar que su importancia seguirá creciendo, desde los medios para su generación (con el despliegue de alternativas tales como pilas de combustible para la generación distribuida) hasta las tecnologías de uso final, muy especialmente el automóvil eléctrico.

NOTAS

- [1] Este tema está ampliamente estudiado en el capítulo «Los estrangulamientos energéticos en la economía española: de un 98 a otro» de José María García Alonso, en el libro coordinado por Juan Velarde Fuertes «Historia de un esfuerzo colectivo. 1900-2000».