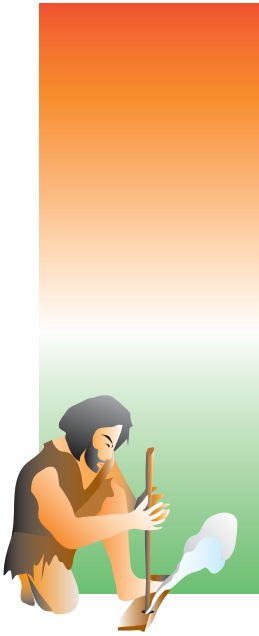


Energía

Antonio Colino Martínez



DESCRIPTORES

SOL
ENERGÍA
MATERIA
MEDIO AMBIENTE
HIDRÓGENO
HISTORIA

Las estrellas brillan.
El Sol calienta.
La Tierra gira.
Los rayos restallan.
El volcán erupciona.
El aire sopla.
El agua fluye.
Las plantas florecen.
Los peces nadan.
Las aves vuelan.
Los animales corren.
El hombre trabaja.
Las máquinas funcionan.
La sociedad progresa.

En todas estas actividades se utiliza energía.

Un gran número de técnicos y científicos han trabajado y analizado cada una de estas actividades, y es el conjunto de todas sus técnicas y conocimientos el que constituye el complejo mundo de la energía.

Empédocles (490-435 a.C.) desarrolló la teoría de que todo cuanto existe en el Universo es una combinación de solo cuatro elementos, tierra, fuego, aire y agua, y de dos fuerzas emotivas, una centrípeta, el amor, y otra centrífuga, el odio. Todo cuanto existe se compone de estos elementos, permanentes y eternos, que pueden reunirse por el amor o separarse por el odio. Empédocles realizó una primera hipótesis atómica de la materia, si bien la paternidad de las primeras teorías del átomo corresponde a Leucipo (450-370 a.C.)

Aristóteles (384-322 a.C.) fue el primer científico en utilizar la palabra *energeia*, que significa actividad, compuesta de los términos griegos, *en*, que indica situación y *ergon*, que significa trabajo. En sus teorías sobre la fisiología y las energías vitales introdujo los conceptos de nutrición, calor vital y el pneuma o espíritu vital.

Hay que llegar ya a los siglos XVI-XVII para el nacimiento de la ciencia moderna. Copérnico (1473-1543) descubrió que la Tierra no se encontraba en el centro del Universo. Kepler (1571-1630) demostró que los planetas no se mueven describiendo círculos sino elipses. Galileo (1564-1642) demostró que los cuerpos celestes no eran perfectos y tenían irregularidades, e Isaac Newton (1642-1727) en su *Filosofía Naturalis Principia Mathematica* (1687), enunció la primera de las leyes físicas de la ciencia moderna, la Ley de la Gravedad, y definió los conceptos fundamentales de masa, fuerza, inercia y tiempo.

A finales del siglo XVIII se descubren los gases principales, como el dióxido de carbono, y en 1789 el francés Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) publica su gran obra, el *Tratado Elemental de la Química*. Lavoisier, siempre en discusión con el inglés Joseph Priestley (1733-1804), descubrió en 1774 el oxígeno, generador de ácidos, y en 1783 el hidrógeno, generador de agua.

El concepto científico de energía no surge solo de la Física sino también de la Biología, y el principio de conservación de la energía lo descubrieron simultáneamente científicos de distintos saberes, pero fueron los médicos Robert Mayer

(1814-1878) y Hermann von Helmholtz (1821-1894) los primeros que lo formularon, analizando la sangre y el trabajo realizado por una persona, mediante la hipótesis de que el combustible, el calor y el trabajo eran mutuamente convertibles, a más trabajo se requería más calor y más respiración interna. Este razonamiento suponía un acercamiento al secreto de la energía de la vida.

Por el lado de la Física el concepto de energía se inicia en el siglo XIII, tras el invento por Denis Papin (1647-1714) de la marmita de vapor provista de una válvula de seguridad. El herrero Newcomen construyó, en 1712, la primera máquina de vapor para desaguar una mina de carbón, combinando la máquina de émbolo y la caldera de vapor.

James Watt (1736-1819), de quien había de recibir posteriormente el nombre la unidad de potencia, mejoró en 1765 el rendimiento de la máquina de vapor.

Fue posteriormente James Prescott Joule (1818-1889), cervecero inglés, quien experimentando con electricidad y un recipiente con agua observó que el trabajo y la electricidad se podían convertir cuantitativamente en calor. Tan obsesionado estaba por demostrar su teoría, que durante su luna de miel en Suiza, pasó gran parte del tiempo subiendo y bajando con su mujer una catarata, para medir la diferencia de temperatura del agua entre la parte superior y la parte inferior. En 1847, en una reunión de científicos celebrada en Oxford, Joule les impresiona con su idea de que el calor y el trabajo eran mutuamente convertibles. William Thomson (1824-1907), posteriormente Lord Kelvin, intenta compaginar esta idea con la hipótesis de Carnot de que el calor era indestructible, pero que el flujo de calor producía trabajo. El análisis de esta situación dio lugar a las leyes primera y segunda de la termodinámica. La primera ley confirmaba que el calor y el trabajo eran mutuamente convertibles, pero la energía en sí misma era indestructible. La segunda ley indicaba que la energía no podía ser destruida en ninguna conversión de sus distintas formas, pero se disipaba en otras formas menos capaces de producir trabajo. Esta pérdida de energía aprovechable recibe el nombre de entropía y fue acuñado por primera vez por el físico alemán Rudolf Clausius en 1868.

A principios del siglo XX los físicos de Cambridge Joseph John Thompson, Ernest Rutherford y James Chadwick descubren que los elementos químicos eran destructibles y estaban compuestos por tres partículas indestructibles más sencillas, el protón, el electrón y el neutrón, y que de éstas, las dos primeras interactuaban a través de una cuarta partícula, el fotón.

Otro campo de la ciencia fundamental para desarrollar el concepto de energía fue el de la electricidad. Tales de Mileto sabía que frotando ámbar se conseguía que éste atrajera otros objetos, pero los primeros estudios científicos fueron los de William Gilbert (1544-1603), que acuñó el término eléctrico del griego *elektron*, que significa ámbar.

Luigi Galvani (1737-1798) descubrió que una chispa eléctrica producía la contracción de la pata de una rana, lo que llevó a Alessandro Volta (1745-1827) a demostrar que la electricidad era la fuerza que producía la transmisión nerviosa y la contracción muscular. La electricidad que impulsa los movi-

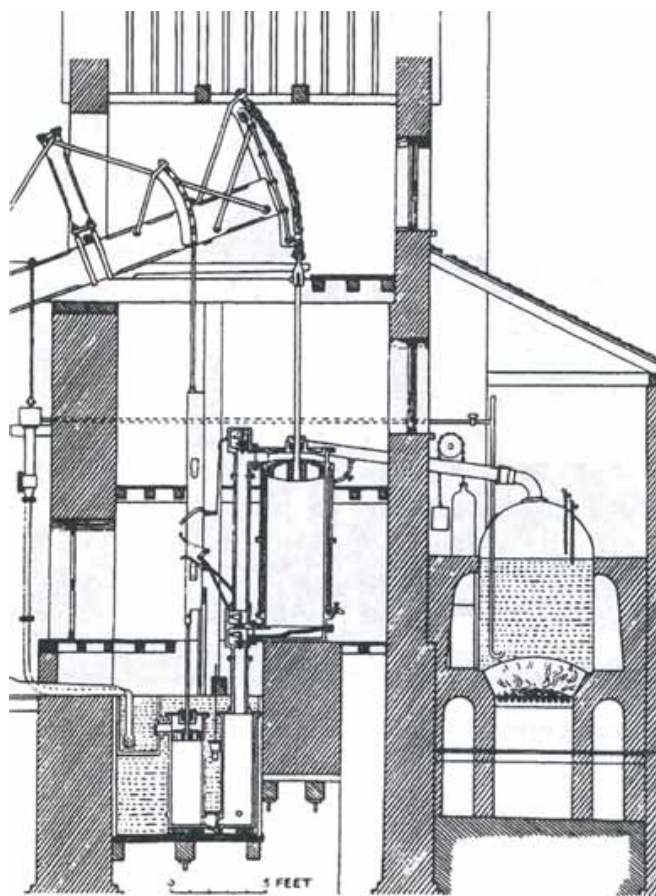


Fig. 1. Máquina de Watt con un condensador separado, patentada en 1775.

mientos musculares procede de los alimentos que comemos y del aire que respiramos, y dentro de nuestras células se extraen los electrones de los alimentos y se añaden al oxígeno.

Otto Warburg (1883-1970) fue el primero que aisló las mitocondrias, unas partículas que se encuentran en el interior de las células y que funcionan como centrales eléctricas de las mismas.

Si la electricidad como divertimento experimental de la física era conocida desde el siglo XVII, fue en el siglo XIX cuando se iniciaron las primeras aplicaciones de esta forma de energía. El electromagnetismo permitía el intercambio de información, y así se concibió el telégrafo en 1830, el teléfono en 1876, y la comunicación inalámbrica de la radio, basada en los trabajos precursores teóricos de Maxwell y Hertz, que fueron puestos en práctica por Guillermo Marconi, que en 1886 consiguió la primera transmisión de un mensaje, encontrándose el receptor a 250 metros del emisor.

Todo se puede crear a partir de la energía, o se puede disipar en forma de energía, incluso la propia materia, tal y como se demuestra en las explosiones atómicas y en la famosa fórmula $E = mc^2$ de Albert Einstein (1879-1955), que expresa la proporcionalidad entre la masa de la materia que desaparece y la energía que se libera en cualquier transformación, siendo la constante de proporcionalidad el cuadrado de la velocidad de la luz en el vacío.

En la década de 1930 se investigaron las fuerzas nucleares, que resultaron ser las responsables de la energía de ligadura entre los protones y los neutrones del núcleo. La libera-



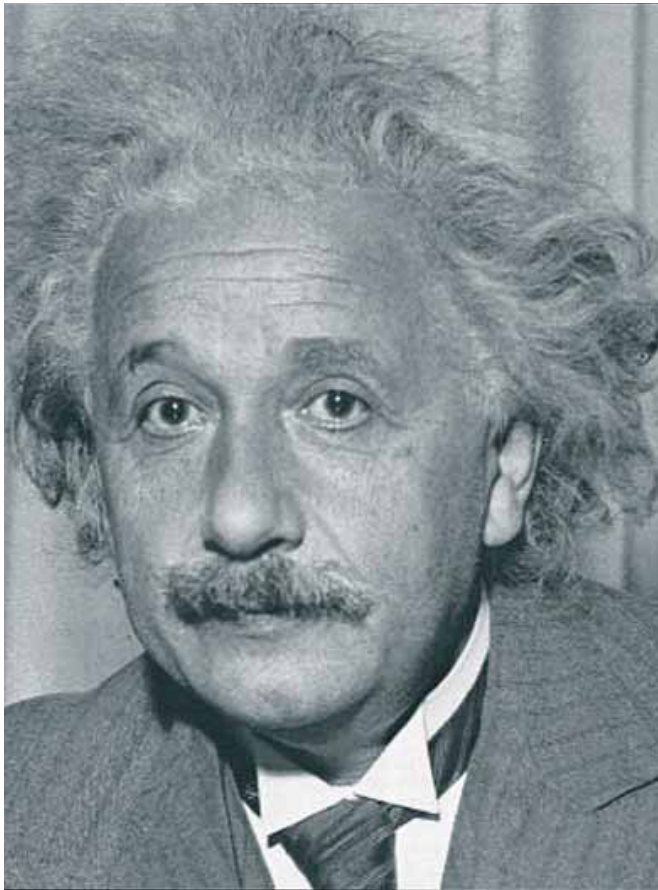
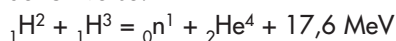


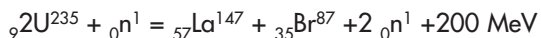
Fig. 2. Albert Einstein.

ción de esta energía es la causa del defecto másico observado en los átomos, y puede interpretarse como el indicador de la estabilidad atómica de la materia con dos zonas diferentes:

La de la fusión, en la que la agregación de núcleos ligeros libera una gran cantidad de energía. Tal es el caso de la fusión de los isótopos del hidrógeno, que es el auténtico motor del Universo:



La de la fisión, en la que la escisión de núcleos de átomos pesados libera también energía. Tal es la fisión del uranio con neutrones:



Las últimas investigaciones sobre la composición de la materia designan con el nombre de partículas elementales o fundamentales a aquellos entes físicos que se consideran como los constituyentes más simples de la materia. Tras varias clasificaciones anteriores, actualmente las partículas elementales se clasifican en leptones, quarks y los cuanta de las cuatro interacciones existentes entre ellas, que, por orden de intensidad, son la gravitatoria, la débil, la electromagnética y la fuerte.

La energía del sol

El Universo nació hace unos quince mil millones de años con una gran explosión, el Big Bang. Se desconoce cómo fueron los primeros instantes tras la explosión, y se consideran cuatro etapas en la evolución posterior.

- La primera, etapa particular, que dura hasta el primer segundo.
- La segunda, etapa nuclear, que dura hasta los cien segundos.

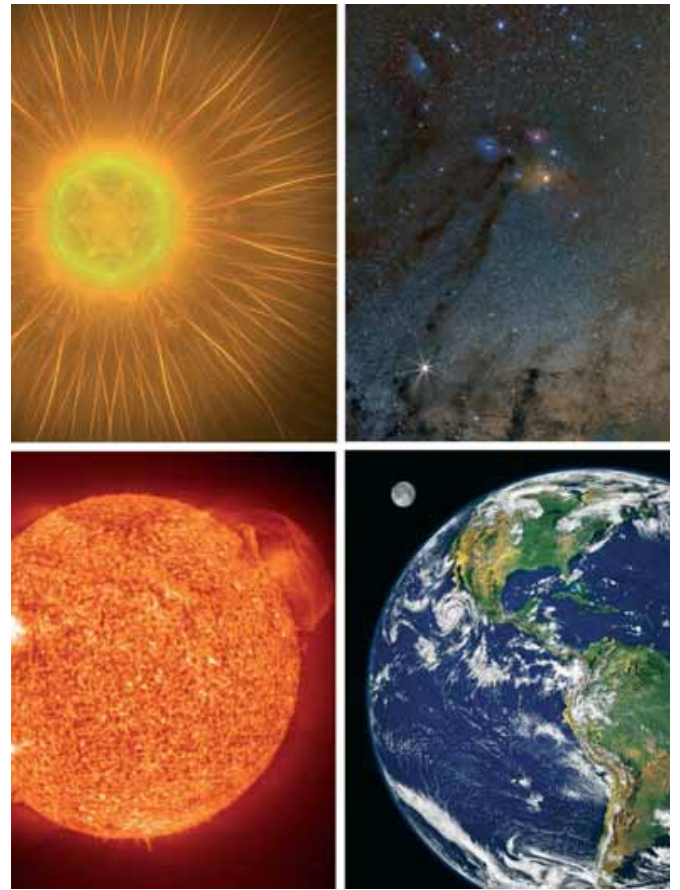


Fig. 3. El Big Bang, el Universo, el Sol y la Tierra.

- La tercera, etapa radiactiva-material, que dura hasta los trescientos mil años.
- La cuarta, etapa estelar, que durará hasta los veinte mil millones de años.

El Sol es una estrella, entre los millones que existen en nuestra galaxia, de unos 4.500 millones de años, de un diámetro de 1.392.000 kilómetros situada a una distancia media de la Tierra de unos 150.000.000 kilómetros, y tiene una masa equivalente a unas 330.000 veces la de la Tierra.

La producción de energía en el núcleo del Sol se debe a reacciones nucleares y la fusión de hidrógeno en helio se inicia cuando la temperatura alcanza los 13 millones de grados Kelvin, y por encima de 16 millones de grados Kelvin empieza a dominar el ciclo carbón-nitrógeno, aunque este ciclo solo aporta un 1,5% de la energía total del Sol.

El Sol inunda a la Tierra con su radiación solar, que suministra la energía necesaria para mantener la mayoría de los procesos físicos y químicos que se producen sobre su superficie. Esta radiación calienta la atmósfera, la tierra y el océano. La luz solar suministra la energía necesaria para la fotosíntesis, la más importante transformación bioquímica, creando biomasa, plantas y bosques que son parte fundamental de la cadena alimentaria, y de los que también se generan los combustibles fósiles, carbón, petróleo y gas natural.

Mientras en el núcleo del Sol quede suficiente hidrógeno para mantener las reacciones termonucleares, la radiación solar permitirá la vida en la Tierra.

La energía de la Tierra

El flujo interno de calor producido por la desintegración de sustancias radiactivas de las series del uranio y del torio, y del potasio 40, en el núcleo terrestre, tiene un efecto pequeño comparado con la reflexión, absorción y emisión de la radiación solar.

Según el principio de la conservación de la energía, la energía no se crea ni se destruye, solamente se transforma. Por tanto, si se necesita obtener energía, se tiene que partir de algún elemento que la tenga almacenada y pueda experimentar una transformación. A estos elementos se les llama fuentes de energía, y son los que suministran la energía en la Tierra.

El uso de la energía

La primera fuente de energía aprovechada por el hombre fue la solar. Arquímedes (287-212 a.C.), científico al servicio del Rey Herón II, quemó las naves de Marcelo por medio de espejos cóncavos situados en la dirección de los rayos del Sol, que fueron reflejados contra la flota romana hasta reducirla a cenizas a la distancia de un arco de ballesta. Esta misma idea de los espejos fue también utilizada en el sitio de Constantinopla en el año 626 d.C.

Casi todos los ingenios mecánicos que facilitaban la vida en la antigüedad se basaban en la Ley de la Palanca, que fue enunciada por Arquímedes, una pequeña fuerza que actúa desde una gran distancia se transforma en una gran fuerza que actúa desde una pequeña distancia, más conocida por la frase "dadme un punto de apoyo y moveré la Tierra". Más de dos siglos después, Herón de Alejandría describe cuatro ingenios mecánicos, la cuña, el tornillo, la polea compuesta y la rueda con un eje, basados todos en el principio de la palanca. En las galeras la energía humana se desplegaba a través de los remos, que funcionaban como palancas.

Durante muchos siglos las mayores innovaciones en el campo de la energía fueron las modificaciones que se producían en los arneos de los caballos, que mejoraban sus rendimientos mecánicos y metabólicos. Las primeras culturas que utilizaron el caballo usaban unos arneos de cuello y cincha con un punto de tracción muy alto que no permitía una óptima transmisión de la fuerza, y la banda del cuello oprimía la tráquea del animal impidiéndole respirar y producir un esfuerzo intenso. En la Edad Media se fueron eliminando estos inconvenientes, pero el punto de tracción seguía estando muy alto. Las mejoras introducidas en China y adoptadas en Europa en el siglo XIX permitieron una tracción hasta diez veces más eficaz y una mayor comodidad para el caballo.

Los primeros vehículos de los que se tiene constancia histórica son de Uruk en Mesopotamia alrededor del 3200 a.C. Las primeras ruedas eran rústicas y pesadas, y giraban junto al eje. Posteriormente empezaron a girar alrededor del eje, aligerando el peso mediante radios, y los vehículos de cuatro ruedas disponían de un eje frontal pivotante que permitía los giros.

Se cree que la rueda hidráulica, gran rueda montada sobre un eje horizontal provista de cangilones en la corona, se conoció en Egipto y Mesopotamia en torno al año 1000 a.C.

En el siglo XVII, Evangelista Torricelli (1608-1647) estableció las relaciones entre las energías hidráulicas potencial y cinética, además de descubrir el principio del barómetro. En el siglo XVIII Daniel Bernoulli (1700-1782) explicó su Teoría Dinámica de los Fluidos.

El acoplamiento turbina de agua y generador eléctrico constituyó un acontecimiento crucial en la historia de la energía. Uno de los primeros sistemas hidroeléctricos comerciales del mundo fue el de las cascadas Salmon Leap en el río Bush de Irlanda del Norte, que entró en servicio en 1883 para suministrar energía a un ferrocarril por medio de una dinamo con una corriente máxima de 100 amperios a 250 voltios, y continuaba en activo al clausurarse el ferrocarril en 1949.

El molino de viento como fuente de energía no es tan antiguo como la rueda hidráulica, y parece haberse originado en Persia en el siglo VII d.C. Estos molinos de viento persas eran de eje vertical. La primera mención de un tipo de molino occidental es un documento normando del año 1180. En Europa los molinos tuvieron un rápido desarrollo y eran de eje vertical, por lo que giraban en la dirección del viento. Posteriormente los molinos se construyeron con eje horizontal y se utilizaron para moler grano, como los que se conservan en La Mancha, y que fueron gigantes enemigos de Don Quijote.

El aprovechamiento de la energía térmica del carbón mediante el vapor en la máquina de émbolo, y la facilidad de su instalación, permitieron la creación de nuevas herramientas y utensilios y de nuevas aplicaciones en el transporte y las comunicaciones. Cuentan los historiadores que en la gran retirada de Rusia, desde Vilna a París, los medios de transporte de Napoleón hicieron velocidades de unos ocho kilómetros por hora, la misma velocidad a la que Julio César había logrado acudir a Roma desde Las Galias dos milenios antes. El hombre del siglo XIX se encontraba en condiciones parecidas a las de los hititas cuando utilizaron por primera vez los carros tirados por caballos.

Durante los siglos XVII y XVIII se llevaron a cabo múltiples empleos de las máquinas de vapor para la extracción de los minerales. Fue, sin embargo, en 1830, cuando se abrió al público la primera línea inglesa de ferrocarril, Liverpool-Manchester, con la locomotora Rocket de George Stephenson.

En pleno dominio energético del carbón, aparecieron dos factores que iban a revolucionar el mundo de la energía, el petróleo como recurso fósil natural y la invención del motor de combustión interna. En Estados Unidos, el 27 de agosto de 1859, en Oil Creek, cerca de Titusville, en el Condado de Crawford de Pensilvania, el Coronel Edwin Laurentine Drake, con un sencillo sistema de perforación y a una profundidad de 21 metros, consiguió el primer brote de petróleo sin que se pudiera prever la importancia industrial, económica, política y estratégica, que esta fuente de energía iba a alcanzar rápidamente y hacer de ella la principal fuente energética del siglo XX.

En cuanto al motor de combustión interna, había sido ya experimentado por Etienne Lenoir en 1860, desarrollado por August Otto en 1872, y hecho operativo por Gottlieb Daimler en 1885. La tecnología del motor de combustión interna se



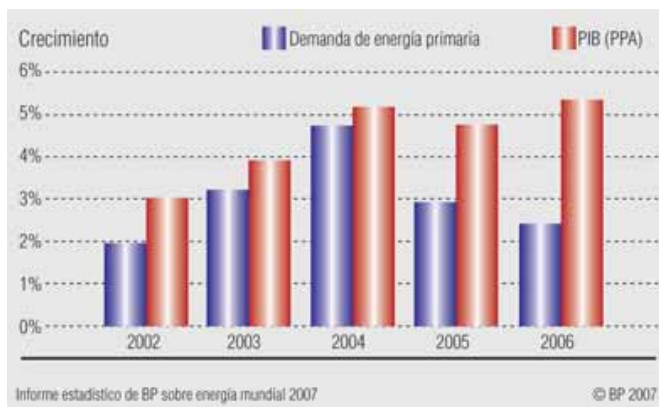


Fig. 4. Crecimiento del PIB y de las energías primarias.

había iniciado con el gas; su desarrollo posterior con otros combustibles, particularmente con la gasolina, puede considerarse un acontecimiento excepcional.

Las innovaciones tecnológicas tanto de los motores como de los combustibles derivados del petróleo habían de beneficiar a todos los tipos de transporte y de mecanización de procesos. Estos avances en los motores también sirvieron para que los hermanos Orville y Wilbur Wright, fabricantes de bicicletas, consiguieran el primer vuelo en una máquina más pesada que el aire, el 17 de diciembre de 1903, en Kitty Hawk, de Carolina del Norte, a bordo del Flyer I.

La utilización de la electricidad ha producido el mayor desarrollo de la historia de la energía, pero antes de poder hacer un uso intensivo de ella, hizo falta la colaboración de muchos científicos que con sus inventos permitieron el uso intensivo de esta energía por el hombre. Michael Faraday demostró que la energía mecánica podía ser convertida en electricidad y viceversa, y así Zénobe Theophile Gramme construyó en 1871 la primera dinamo, y en 1880 Eilhu Thomson patentó el primer alternador con devanado de tres fases.

Pero los avances en electricidad se deben en gran parte a Thomas Alva Edison, que entre otras cosas inventó el filamento de las bombillas de alto vacío el 21 de octubre de 1879, con una eficiencia cien veces inferior a las bombillas actuales, el fonógrafo y la primera central de generación de electricidad en Londres el 12 de enero de 1882, y aunque apoyó los sistemas de corriente continua, finalmente se impuso la corriente alterna que preconizaban Nikola Tesla, George Westinghouse y Sebastian Ferranti.

En los últimos años del siglo XIX se descubrió la radiactividad como propiedad de la materia, lo que puede considerarse el origen directo de la energía nuclear.

Los estudios radioquímicos de Hahn y la hipótesis atómica de Rutherford se vieron enseguida comprobados por el equipo de Joliot y sus colaboradores Hans Halban y Lew Kowarski, del Collège de Francia, en 1940, y en Nueva York por Enrico Fermi (1901-1954) y Leo Szilard (1898-1964), joven emigrante húngaro en Londres, que en 1933 mientras esperaba que cambiase el semáforo en el cruce de Southampton Road, se le ocurrió que si se pudiera encontrar un elemento que se escindiese por los neutrones y emitiese dos neutrones cuando absorbiese uno, tal elemento agrupado en una masa

suficiente podría sostener una reacción nuclear en cadena, lo que fue conseguido por Enrico Fermi y su equipo en el reactor del Laboratorio Metalúrgico de Chicago, en los bajos del Estadio de la Universidad el 2 de diciembre de 1942.

El medio ambiente

Dentro del amplio espectro de impactos ambientales asociados a la producción, transporte y uso de la energía, hay una serie de ellos cuya reducción, recogida en la legislación vigente, condiciona la política energética. Entre ellos se destacan los contenidos en el Convenio de Ginebra referentes a contaminación atmosférica transfronteriza, y en el Protocolo de Kyoto sobre el cambio climático.

Efecto invernadero

El CO₂ es el gas más abundante de los que producen el efecto invernadero, ya que es transparente a la radiación solar de onda corta procedente del Sol, pero absorbe la radiación terrestre de onda larga que sale de la Tierra, y refleja parte de ella al espacio y otra parte la devuelve a la superficie de la Tierra.

Aunque las emisiones de CO₂ son mucho mayores que las de los otros gases, debido a su baja eficiencia de absorción de la radiación de onda larga, solamente produce un 55% del efecto invernadero total.

Lluvia ácida

Las reservas de carbón recuperables son las mayores de todos los combustibles fósiles, pero debido a su alto contenido en azufre, especialmente de los lignitos, su combustión lanza a la atmósfera grandes cantidades de dióxido de azufre, que se transforma en sulfatos y que pueden ser arrastrados por los vientos a cientos de kilómetros de distancia y depositados en la tierra en forma de lluvia ácida, afectando a la flora y a la fauna, y a las reservas de agua.

Otro efecto dañino de la actividad humana es la emisión a la atmósfera de clorofluorocarbonos, CFC, que además de ser parte de los gases que producen el efecto invernadero, también destruyen el ozono, que forma una capa protectora para los rayos ultravioletas del Sol, y está situado en las capas altas de la atmósfera, entre 15 y 45 kilómetros por encima de la superficie de la Tierra.

Residuos radiactivos

La prestación de servicios a la sociedad, mediante la tecnología nuclear, en medicina, industria, investigación, así como en la producción de electricidad, conlleva la realización de una serie de operaciones con los materiales nucleares, lo que da lugar a la generación de residuos que requieren su posterior gestión. El tratamiento de estos residuos radiactivos tiene por objeto proteger, a las personas y al medio ambiente, durante el tiempo necesario hasta que las dosis radiactivas bajen al nivel de inocuidad.

La estrategia seguida para la gestión de los residuos radiactivos de baja y media actividad es su almacenamiento definitivo. Las tecnologías se basan en crear barreras alrededor de los mismos. Las barreras empleadas son de ingeniería,

pues el tiempo máximo que han de permanecer estables es de 300 años, período que tarda la radiactividad de los residuos almacenados en alcanzar los niveles de fondo natural.

En cuanto a la gestión del combustible gastado o residuos de alta actividad, una vez que han generado electricidad, se retiran del reactor y se depositan en la piscina de la central nuclear, con el fin de que pierda calor y decaiga su actividad radiológica. Tras esta primera etapa de una duración de tres a cinco años, el combustible, si no es reprocesado, pasa a una segunda fase denominada almacenamiento temporal, la cual se prolongará durante el tiempo necesario hasta su tratamiento definitivo.

Se han desarrollado y están operativos industrialmente dos tipos de almacenes temporales, en húmedo en piscinas como las que existen en todas las centrales nucleares, y en seco en contenedores metálicos o de hormigón. En ambos casos se puede construir un almacén centralizado para el conjunto de un país o una región.

Para el tratamiento definitivo del combustible gastado o los residuos de alta actividad, en este momento se plantean dos alternativas. Una es el almacenamiento geológico profundo (AGP), técnicamente resuelto, existiendo ya uno en funcionamiento en Nuevo México, Estados Unidos, y varios en proyecto y construcción en otros países.

La otra alternativa, que es complementaria del AGP, es la tecnología de separación y transmutación, y tiene por finalidad lograr radionucleidos de menor radiotoxicidad que los de partida. Esta solución podría reducir hasta un 95% las cantidades de residuos de alta actividad, pero sigue haciendo falta al final para el restante 5% un almacén geológico profundo.

Desafíos éticos

La ética debe presidir las decisiones políticas concernientes al desarrollo económico y social de los países y las sociedades. Decisiones éticas que contribuyan a una mayor equidad social y a la promoción de un desarrollo sostenido. En cualquier caso, la heterogeneidad de los problemas energéticos, y su profunda interdependencia con otros dominios de la actividad económica y política, asegura una fuerte repercusión social y obliga a planteamientos integrales, tanto conceptuales como geográficos, en los que la energía no es más que un simple componente de un sistema complejo.

Es importante para el futuro del planeta determinar si la sociedad actual tiene el deber de preservar los recursos agotables del mundo para las futuras generaciones, o si tiene el derecho de agotarlos, sin considerar qué va a suceder con las generaciones siguientes, como se está haciendo con las reservas de petróleo, que se agotarán previsiblemente en solo dos siglos desde el primer pozo de petróleo en 1859. Parece conveniente en este contexto, que el debate previo a la toma de decisiones sobre la incorporación masiva de algunas fuentes energéticas, por ejemplo el gas natural, o la exclusión de otras, como la energía nuclear, incorpore consideraciones éticas.

En la historia del Universo, desde la gran explosión Big Bang hace unos 15.000 millones de años, y con la vida restante prevista para el Sol de otros 5.000 millones de años, con un total

de vida del Sistema Solar de unos 20.000 millones de años, el Homo Erectus apareció hace unos dos millones de años, el Homo Sapiens hace unos 0,5 millones de años, y el Homo Sapiens Sapiens, antecesor directo del Hombre actual, apareció hace solamente unos 0,1 millones de años. Todo esto pertenece a la prehistoria, y la historia del hombre empieza con el descubrimiento de la escritura hace solamente unos 0,005 millones de años.

En este corto período de tiempo de existencia del Hombre actual, que representa tres diezmilésimas de la duración total de la vida del Universo, las actividades del Hombre están afectando a las condiciones normales de la vida en el Planeta.

Conclusiones

El tema de la energía suscita gran interés, e incluso genera grandes polémicas, a nivel ético, social, político, económico y técnico, pero siempre con las siguientes condiciones de contorno:

- La energía es necesaria para la vida y la sociedad.
- La mayor parte de las reservas energéticas se agotan a corto plazo.
- La generación y consumo de energía afecta al medio ambiente.
- La energía condiciona el desarrollo de las sociedades.

Actualmente existen capacidades y medios para atender de forma sostenible las necesidades energéticas de la humanidad, si se hace un uso racional de todas las fuentes energéticas disponibles, se hacen los esfuerzos necesarios de investigación y desarrollo, se ahorra en el consumo de energía y se buscan soluciones integrales en el marco global en el que cada vez está más inmersa la sociedad actual.

El espectacular desarrollo en el que está inmerso el Universo, que comenzó hace unos 15.000 millones de años, cuando se inició su expansión a partir de un punto de singularidad energética, está necesariamente vinculado a una evolución progresiva e imparable, que permite confirmar el relativismo de muchas afirmaciones y la confianza que puede y debe tenerse en el progreso. Si al Homo Erectus se le hubiera preguntado por lo que estimaba iba a ser el mejor mundo futuro, hubiera concebido una sociedad basada en utensilios más o menos sofisticados de piedra y hubiera considerado la piedra silíceo como el factor delimitante del progreso.

Las extrapolaciones que se hacen ahora sobre las tecnologías más avanzadas conocidas en la actualidad pueden quedar desplazadas por otras nuevas que ahora no se alcanza ni a concebir. En el futuro se podrán curar las enfermedades y eliminar las contaminaciones que producen la generación y el uso de energía, lo que abrirá algunos desarrollos hoy en día inimaginables.

El ser humano es por un lado el objeto de toda la evolución tecnológica, pero es también uno de los mayores riesgos para el Universo, ya que la actuación humana a pesar de su corta existencia es una de las más impredecibles, y se ha de procurar que las generaciones futuras hereden un mundo tan maravilloso como el de hoy. □

Antonio Colino Martínez
Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Académico de la Real Academia de Ingeniería

