

HISTORIA DE LA ENERGÍA

Mauricio Schoijet

ENERGÍA Y CIVILIZACIÓN

René Descartes y Francis Bacon postularon que el conocimiento de la naturaleza a través del desarrollo científico permitiría el desarrollo ilimitado de las potencialidades productivas. Ésta fue la filosofía dominante durante el siglo XIX, promovida tanto por ideólogos del capitalismo, como Saint Simon, Comte y Spencer, como por socialistas, como Marx y Engels.

La Revolución Industrial del siglo XVIII, iniciada en Inglaterra, incorporó al proceso productivo la máquina de vapor y la energía del carbón, cuya extracción aumentó en forma ininterrumpida durante el siglo XIX. Los primeros textos acerca de un probable agotamiento de los recursos de carbón, del físico Rudolf Clausius y del economista Stanley Jevons, aparecieron en la segunda mitad del siglo XIX y a comienzos del siguiente. En 1908, el científico Frederick Soddy presentó una idea que tuvo una enorme difusión, la de la disponibilidad ilimitada de energía barata como elemento clave para el desarrollo de las fuerzas productivas. Esta idea fue complementada por la del antropólogo Leslie White, para quien la disponibilidad de energía jugó un papel central en el avance de la civilización.

Durante el siglo XX y hasta 1973, continuó en forma acelerada la producción y el consumo de los recursos energéticos, que fue favorecida por la aparición y auge del transporte automotor. El Programa de Átomos para la Paz, anunciado por el presidente de Estados Unidos Dwight Eisenhower en 1953, y apoyado por la Unión Soviética, que buscaba imponer a la energía nuclear como medio dominante para la generación de energía eléctrica, se ubicaba totalmente en el marco de la ideología del progreso y de la visión de Soddy sobre el papel de los recursos energéticos.

La teoría de la población formulada por Thomas Malthus constituyó un primer cuestionamiento de la ideología del progreso. En el siglo XIX, una escuela de geógrafos críticos

señaló a la devastación de los recursos naturales como una probable causa de la desaparición de civilizaciones antiguas. En la segunda mitad del siglo XX, por una parte se estableció una relación entre producto bruto y consumo de energía, que parecía confirmar las ideas acerca del papel de la energía en el desarrollo económico. Pero también varios economistas y especialistas en recursos dieron la voz de alarma en cuanto al posible agotamiento de los recursos naturales. Un avance muy importante para la comprensión de la problemática de las fuerzas productivas fue el planteo del filósofo Herbert Marcuse acerca de la promoción de las necesidades ficticias, dentro de las que cabe considerar el ya mencionado auge del automóvil, que consume varias veces los recursos energéticos y de otro tipo —metal, vidrio, etc.—que el transporte público por pasajero-km transportado.

A partir de la elevación de los precios del petróleo en 1973, la perspectiva del agotamiento de este recurso pareció real; el derroche de energía y de otros recursos había sido favorecido por la abundante disponibilidad de petróleo barato. A partir de entonces, se desarrolló una enconada batalla política e ideológica, en que los voceros del Organismo Internacional de la Energía Atómica, de los gobiernos, del gran capital de la industria energética, y muchos científicos nucleares manejaron una retórica tremendista, en el sentido de que el posible agotamiento de los recursos de petróleo y gas, y los efectos ambientales adversos, como el llamado efecto invernadero, hacían imperativa la implantación de la energía nuclear y, que de no hacerse así, ocurriría un retroceso de la “civilización”.

En contra de esta posición se fue desarrollando la idea de que no hay una solución única al problema de las necesidades energéticas, que su aumento desmedido no necesi-



© Lorenzo Armendáriz, República Checa, 1995.

riamente constituye una medida del bienestar, que el problema central es el de la protección del ambiente y no el de la carencia de recursos energéticos, y que incluso en algunos países desarrollados es posible disminuir el consumo de energía sin afectar o incluso mejorando la calidad de vida.

Esta problemática ha escapado entonces al universo de los especialistas. Se ha percibido que no puede limitarse a los aspectos técnicos económicos, sino que también debe incluir a los ambientales e incluso a la filosofía política, en cuanto a que la visión de una sociedad deseable incluye necesariamente la de sus relaciones con la naturaleza. La discusión del problema energético y sus posibles soluciones interesan por lo tanto a las más amplias capas sociales y a todos aquellos preocupados por el futuro de la humanidad.

DEL FUEGO A LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Quienes han estudiado, a partir de los homínidos fósiles, el modesto surgimiento de la especie humana, sostuvieron durante mucho tiempo la tesis de que el hombre siempre había sido cazador. Sólo en épocas recientes se dieron cuenta de que nuestros ancestros, débiles en comparación con animales como los grandes felinos, se habrían limitado al más humilde rol de vegetarianos y carroñeros. Sólo cuando el hombre inventó, hace 20 mil años, instrumentos como el arco y la flecha, es decir cuando aprendió a utilizar su propia energía animal de una forma artificialmente concentrada, pudo empezar a competir y superar a animales más fuertes y rápidos. La domesticación de algunas especies grandes le permitió poner a su servicio la energía animal.

En la época de las grandes civilizaciones antiguas, los seres humanos ya habían aprendido a utilizar la energía del viento para mover sus pequeñas naves. No sabemos quiénes inventaron los molinos de viento, pero hacia la época en que los normandos conquistaron Inglaterra, en el año 1066, funcionaban miles para bombear agua.

Los primeros instrumentos que se usaron para la guerra en la prehistoria fueron los mismos que se utilizaban para la caza. Fueron los chinos quienes descubrieron las propiedades de la mezcla de nitrato de potasio con carbón molido y

azufre, que hoy llamamos pólvora, y la usaron para fuegos artificiales. Fue el conocimiento de la pólvora (más los avances en el manejo de los metales) lo que transformó de manera decisiva la guerra en una empresa más sangrienta a partir del siglo XIV, al poner a la energía química al servicio de la destrucción. En 1453, el uso de los primitivos cañones le permitió a los turcos conquistar Bizancio derribando sus murallas a cañonazos. En el siglo XIX, con cañones más eficaces, los ingleses pudieron obligar a los chinos, que los habían fabricado antes que ellos, a abrir sus ríos a la navegación de buques extranjeros, de igual manera que los estadounidenses obligaron en la misma época al Japón a darles acceso a sus puertos.

El carbón había sido utilizado en algunas ciudades alemanas e inglesas desde la Edad Media. La máquina de vapor fue inventada por el comerciante Thomas Savery a fines del siglo XVII, pero la primera que efectivamente funcionó fue armada por Thomas Newcomen en 1712, y posteriormente perfeccionada por el fabricante de instrumentos James Watt hacia 1796. La difusión de la máquina de vapor, los avances en la metalurgia que permitieron fabricar máquinas cada vez más precisas y eficientes, incluyendo herramientas tales como el torno, y varios avances en la tecnología textil, se combinaron para impulsar el desarrollo de las fuerzas productivas en Gran Bretaña, en el proceso conocido como la Revolución Industrial, iniciado hacia la segunda mitad del siglo XVIII. Desde entonces, y hasta aproximadamente 1880, en que se introdujeron los generadores y motores eléctricos, hubo un continuo aumento del número y potencia de las máquinas de vapor. Entre 1840 y 1880 la potencia instalada de las máquinas de vapor pasó a nivel mundial de 2 a 28 millones de CV (CV, caballo-vapor, unidad de potencia igual a 745 vatios).

Las ruedas hidráulicas habían sido utilizadas desde el siglo XVI para mover bombas de succión que extraían agua de las minas para evitar que se inundaran. Antoine Parent fue el primero que calculó, en el siglo XVIII, la máxima potencia que podría derivarse de un curso de agua. Inicialmente, las ruedas hidráulicas fueron usadas para proveer de energía a las primeras fábricas, pero ello implicaba serias limitaciones para la ubicación de éstas. El uso masivo de la leña llevó a la rápida reducción de la superficie de los bosques y a la sustitución de la madera por el carbón mineral.



© Lorenzo Armendáriz, República Checa, 1995.

El químico J. B. van Helmont inventó la palabra gas a fines del siglo XVI. En el siglo XVII se obtuvo gas combustible a partir de la hulla, y hacia 1760 se comienza a utilizar como fuente de iluminación; 50 años después se aplica a escala comercial en una gran hilandería en Salford, Inglaterra. La iluminación por gas se extendió en las décadas siguientes a ciudades y fábricas en países como Estados Unidos, Francia y Alemania. La primera cocina de gas se fabricó en 1802, y los hornillos y calentadores de gas se usaron a partir de la segunda mitad del siglo XIX.

A partir de 1825 los ferrocarriles tienen gran auge como resultado directo del desarrollo de la máquina de vapor. Entre 1775 y comienzos del siglo XIX se hicieron varios experimentos para construir un barco movido por una máquina de vapor. El primer éxito comercial lo logró Robert Fulton en 1807. A fines del siglo XIX, C. A. Parsons inventó la turbina de vapor, que fue aplicada a la propulsión naval.

En México, el uso del ferrocarril cobró impulso durante el Porfiriato, acompañando al desarrollo de la minería y a la incorporación del país al mercado mundial. En las últimas décadas del siglo XIX se intentó fabricar automóviles eléctricos y de vapor. En 1874, Nikolaus Otto diseñó en Alemania la primera máquina de combustión interna alimentada por gasolina, que en 1900 fue incorporada a los primeros automóviles producidos por Henry Ford en Estados Unidos. A la difusión del automóvil contribuyeron algunos adelantos originalmente aplicados a la bicicleta, inventada hacia 1880, tales como la invención del neumático por J. B. Dunlop en 1888 y, posteriormente, la vulcanización del caucho.

Hacia 1830 surgió una nueva aplicación de las máquinas térmicas en la fabricación de máquinas para hacer hielo. En 1877 comenzó el transporte marítimo de alimentos perecederos, con un envío de carne refrigerada desde Argentina a Francia. A principios del siglo XX comenzó la introducción de dispositivos eléctricos de uso doméstico, y posteriormente se amplió la producción de los refrigeradores domésticos. La explotación comercial del petróleo se inició en Estados Unidos en 1859, y en la década de 1920 comenzó a sustituir al carbón.

Durante el siglo XIX, la apertura masiva de nuevas tierras al cultivo en Estados Unidos, Canadá, Argentina y Australia, fue acompañada por procesos de mecanización y uso masivo de fertilizantes: el guano, producto de las deyecciones de

las aves marinas en las costas peruanas; luego los fertilizantes inorgánicos como los nitratos provenientes de Chile y, a comienzos del siglo XX, los sintéticos. La disponibilidad de energía fósil abundante y barata jugó un papel crucial en la difusión masiva de estos últimos, hecho que se reflejó en un aumento de la producción agrícola. En esa misma época también se transformó la industria pesquera, al generalizarse el uso de embarcaciones movidas por máquinas de vapor o motores diesel.

LA COMPRESIÓN CIENTÍFICA DE LOS PROCESOS DE COMBUSTIÓN Y DE LAS MÁQUINAS TÉRMICAS

Aunque los conceptos de trabajo y de energía como capacidad de realizar trabajo no fueron formulados sino hasta el siglo XIX, ya desde el XVII Christian Huyghens había formulado el principio de conservación de la energía en un campo gravitatorio, por ejemplo en el aumento de la energía cinética de un móvil en caída libre por la acción de la gravedad.

En el siglo XVIII los primeros químicos comenzaron el estudio científico de los fenómenos térmicos. Joseph Black formuló los conceptos de calor específico y de calor latente, es decir de las cantidades de calor para aumentar un grado la temperatura de una unidad de masa de una sustancia, y la necesaria para un cambio de estado, por ejemplo del líquido al gaseoso. Los primeros investigadores de esos fenómenos creyeron en la existencia de un fluido calórico que pasaría de los cuerpos calientes a los fríos. La comprensión científica de los procesos de combustión la inició Antoine Lavoisier, hacia la década de 1770, cuando identificó el papel del oxígeno en ellos. En México existió desde la década de 1790 el Real Colegio de Minería, prácticamente la única institución científica en las colonias españolas en América, cuyos científicos divulgaron los trabajos de Lavoisier.

Las leyes de los gases, es decir, las relaciones entre presión y volumen para temperatura constante, entre presión y temperatura para volumen constante, y entre volumen y temperatura para presión constante fueron formuladas por el físico Robert Boyle en el siglo XVII, y Gay Lussac y Charles hacia fines del siglo XVIII. Charles percibió que estas relacio-



© Lorenzo Armendáriz, Rumania, 2000.

nes entre presión del gas y temperatura a volumen constante y entre volumen del gas y temperatura a presión constante permiten identificar una temperatura a la cual la presión se haría nula o el volumen bajaría a cero, que coinciden en la temperatura de $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$, que llamamos cero absoluto. La escala de temperaturas que parte de ese cero absoluto la definimos como temperatura absoluta, de acuerdo con una propuesta formulada a mediados del siglo XIX por el físico William Thomson (lord Kelvin). Por supuesto que en la práctica ningún gas llega a tener un volumen cero, sino que a determinada temperatura se licuan.

Uno de los resultados de la Revolución Industrial fue la generalización del uso de la máquina de vapor, pero ello ocurrió antes que fueran comprendidos los principios científicos implicados en la conversión de la energía química en energía térmica a través de la combustión. Éstos fueron desarrollados por científicos como James P. Joule, Julius R. von Mayer, Sadi Carnot y Rudolf Clausius, quienes liquidaron la idea de un fluido calórico y fundaron la ciencia de la termodinámica, incluyendo sus dos principios: el de la conservación de la energía y el del aumento de la entropía. Estos avances de la ciencia permitieron no sólo comprender el funcionamiento de las máquinas térmicas sino que sentaron las bases para aumentar su eficiencia.

J. R. Mayer y J. P. Joule establecieron en forma independiente el Primer Principio de la Termodinámica en la década de 1840. Mayer postuló que la energía proveniente de la luz solar se convierte en energía química presente en los alimentos, y que la ingestión y gasto de energía están en equilibrio en los animales; planteó además la equivalencia y conservación de las energías magnética, eléctrica y química. Joule realizó un famoso experimento con el que determinó el equivalente mecánico del calor, en que la caída de un peso conectado a una polea movía un dispositivo formado por paletas que giraban dentro de un líquido contenido en un recipiente, que por esta causa aumentaba su temperatura. Con ello estableció el Principio de Conservación de la Energía. Posteriormente se verificó esta equivalencia con otras formas de energía, como la eléctrica.

Sadi Carnot estableció que la eficiencia de la conversión

de energía por una máquina térmica depende de las temperaturas absolutas de una fuente caliente y una fuente fría, o sea que la eficiencia es tanto mayor cuanto mayor sea la temperatura a la cual se produce la combustión. Lo anterior hace imposible que una máquina térmica funcione con una sola fuente, por ejemplo una máquina que tratara de extraer energía para mover un barco enfriando el agua del mar. Ésta es otra forma de plantear el Segundo Principio de la Termodinámica, formulado en la década de 1850 por Rudolf Clausius, quien formuló el concepto de entropía, o sea la relación Q/T , donde Q es una cantidad de calor intercambiada a una temperatura absoluta (T). Clausius dedujo que en toda transformación irreversible o espontánea en un sistema aislado la entropía aumenta.

En esa misma época, el físico James Clerk Maxwell elaboró su teoría cinética de los gases, que estableció una relación entre parámetros macroscópicos tales como la temperatura y la presión de un gas, y los microscópicos. Sugirió que la temperatura representa la energía cinética promedio de las moléculas, y que la presión está relacionada con su cantidad de movimiento y el número de choques de éstas con las paredes del recipiente que contiene al gas.

LA ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA

La existencia de materiales magnéticos y la de la electricidad estática fueron conocidas por los antiguos griegos. El conocimiento científico de estos fenómenos comenzó en 1600 con la publicación de la obra del físico William Gilbert sobre las propiedades de los imanes, y con las investigaciones sobre electricidad estática, en el siglo XVIII, de C. A. Coulomb, Pieter van Musschenbroek, Francis Hauksbee y Benjamín Franklin. El primero formuló la ley que rige las acciones de atracción o repulsión entre cuerpos eléctricamente cargados; el segundo inventó el condensador; el tercero las descargas eléctricas en vacío, y el último el pararrayos. En 1800, Alessandro Volta inventó la pila, y con ello el primer dispositivo electroquímico y la primera fuente de corriente aproximadamente constante.

En 1820, el físico Hans C. Oersted realizó un experimento crucial que fundó el electromagnetismo, al verificar que una corriente eléctrica era capaz de mover una aguja magnética, lo que equivale a mostrar que una corriente eléctrica produce



© Lorenzo Armendáriz, República Checa, 1995.

un campo magnético. En las décadas siguientes las investigaciones del físico André M. Ampere y Michael Faraday establecieron la existencia de fuerzas entre los conductores de corriente eléctrica y de la inducción electromagnética, es decir, que una corriente eléctrica variable en un conductor induce una corriente en un conductor próximo. Estos avances, junto con la invención de los electroimanes, establecieron la base para la de los motores y los generadores eléctricos. Las primeras centrales eléctricas comenzaron a funcionar hacia 1880 y, con ellas, la electricidad desplazó al vapor para mover la maquinaria; la iluminación por la lámpara incandescente, inventada por Thomas Edison, sustituyó a la de gas.

Desde esa época hasta la década de 1960 se dio un ininterrumpido aumento en el tamaño y las temperaturas de operación y, con ello, en la eficiencia de las máquinas térmicas que movían a los generadores; la energía generada se fue transmitiendo a distancias cada vez mayores. En 1900, los mayores generadores en el mundo eran dos de 1500 kilovatios; hacia 1963 se inauguró uno de un millón. Las primeras máquinas consumían 8 kg de carbón por kilowatio-hora producido; las actuales sólo medio.

Desde la Revolución Industrial hasta hoy creció la producción de combustibles fósiles, incluyendo al gas natural. A pesar de la ya mencionada sustitución del carbón, su producción se triplicó en el periodo entre 1932 y 1972. La de petróleo llegó a miles de millones de toneladas, con medio millón de pozos en operación en Estados Unidos. Las otras formas de energía jugaron un papel secundario. Por ejemplo, la primera gran central hidroeléctrica se instaló en el río Niágara en Estados Unidos en 1890, pero en 1950 la contribución de esta forma de energía a la producción total de electricidad era sólo de la octava parte del total en el orden mundial. Sólo en las décadas siguientes se desarrollaron grandes proyectos hidroeléctricos en algunos países menos desarrollados, como Egipto, Ghana y Brasil.

En cuanto a la energía eólica, los primeros pequeños generadores eléctricos movidos por el viento fueron construidos por P. LaCour en Dinamarca en la década de 1890. En la de 1920 funcionó en la Unión Soviética un generador de 100 kilovatios durante varios años. Aunque la utilización de molinos de viento era considerable en pequeñas instalaciones rurales para el bombeo de agua, recién en la década de

1980 comenzó a utilizarse de manera importante para la generación de electricidad en el estado de California, en Estados Unidos, y en Dinamarca. En California se han llegado a construir generadores eólicos de 750 kilovatios y la capacidad instalada de generación de energía eólica ha alcanzado los 1500 MW –más del doble de la de la central nuclear de Laguna Verde– con ventas anuales de energía por más de 70 millones de dólares.

LA RADIOACTIVIDAD, LA ENERGÍA Y LAS ARMAS NUCLEARES

En 1896, el físico Antoine Becquerel descubrió la radioactividad, es decir, la desintegración espontánea de los átomos con producción de calor. Los esposos Pierre y Marie Curie descubrieron el radio y otros elementos radioactivos. Pierre Curie fue el primero en percibir que la desintegración radioactiva producía enormes cantidades de energía.

En 1908, Frederick Soddy, quien había colaborado con Ernest Rutheford para establecer que la radioactividad observada por estos investigadores se debía a la transmutación de un elemento pesado en otro con pérdida de energía, sugirió que el control de los fenómenos radioactivos permitiría en el futuro la disponibilidad ilimitada de energía barata, con lo cual se desatarían enormes posibilidades productivas, tales como las de “hacer florecer los desiertos” por desalinización de agua de mar.

Albert Einstein formuló el principio de equivalencia entre masa y energía, lo que permitió comprender el origen de la energía emitida en los procesos radioactivos. En las décadas siguientes fueron identificadas las partículas elementales constituyentes de los núcleos atómicos, y en 1938 los físicos Otto Hahn, Lise Meitner y Fritz Strassman dieron el paso decisivo al descubrir la fisión de los núcleos del uranio, es decir, su ruptura con formación de átomos de aproximadamente la mitad de la masa del original. En 1942, el físico Enrico Fermi construyó el primer reactor nuclear, es decir el primer dispositivo para producir energía por esta fisión controlada del uranio, que se utilizó para producir plutonio, elemento radioactivo que no existe en la naturaleza y que fue utilizado para fabricar las bombas atómicas.



© Lorenzo Armendáriz, México, 1995.

La perspectiva de la utilización de la energía nuclear para fines pacíficos desató desde 1940 especulaciones que actualmente vemos como totalmente infundadas sobre el bajo costo y sus aplicaciones. Las primeras centrales nucleares pequeñas comenzaron a operar en la década de 1950 y, a partir de la siguiente, comenzó un rápido y efímero auge de la energía nuclear, que en el caso de Estados Unidos, país en el que se construyó el mayor número de ellas, acabó en muy pocos años. Las razones fueron los altos costos, el difícil y aún no resuelto problema de construir depósitos para los desechos de alta radioactividad, que seguirán siendo peligrosos durante miles de años, las dificultades de operación y la posibilidad de accidentes, que fue puesta de manifiesto en forma dramática con el accidente de Chernobyl. Actualmente sólo Japón, China, la República de Corea y Taiwán siguen construyendo centrales nucleares.

EL AGOTAMIENTO DE LOS RECURSOS PETROLEROS Y LAS ENERGÍAS "SUAVES"

El auge del automóvil aumentó la demanda no sólo de petróleo sino de gasolina. Hacia la época de la Primera Guerra Mundial, la que se obtenía por destilación del petróleo resultaba insuficiente, por lo que se introdujeron los procesos de craqueo catalítico, por los cuales se rompen las moléculas de los hidrocarburos pesados para formar otros livianos, en presencia de un catalizador (una sustancia o compuesto que no interviene en el proceso pero que acelera la velocidad de reacción). Las refinerías de petróleo en que se realizaban estos procesos se convirtieron en una de las más importantes fuentes de contaminación.

El aumento del consumo también determinó la necesidad de transportar cada vez mayores cantidades de petróleo, para lo cual se empezaron a construir oleoductos a comienzos de siglo. Hacia 1970 llegaban a una longitud de 300,000 km en Estados Unidos.

En 1929, el geólogo D. F. Hewett elaboró el primer trabajo sobre agotamiento de recursos no renovables. A partir de fines de la década de 1940 el geólogo M. King Hubbert publicó varios trabajos sobre el agotamiento de los recursos

de petróleo y gas en Estados Unidos, en los que llegaba a la conclusión de que las reservas de petróleo y gas de ese país comenzarían a decrecer hacia fines de la década de 1960, lo que efectivamente ocurrió. Cuando comenzó la transición del carbón al petróleo, Estados Unidos era el primer productor y exportador de petróleo. Posteriormente, lo fueron los países del Medio Oriente.

Para transportar el petróleo se construyeron buques tanques cada vez más grandes, de hasta centenares de miles de toneladas. El agotamiento de los recursos petroleros llevó, a partir de 1947, a perforar pozos en áreas antes inaccesibles como los fondos marinos, primero frente a las costas de Louisiana y, posteriormente, frente a las costas mexicanas del Golfo de México, en el Mar del Norte y en el Golfo Pérsico.

El aumento de los precios del petróleo en 1973 causó un cambio importante en la tendencia histórica del consumo de energía, que había aumentado en forma ininterrumpida desde la época de la Revolución Industrial. El movimiento espontáneo de millones de consumidores llevó a la utilización de automóviles más pequeños y más eficientes en el uso del combustible, también para calefacción y la industria, como consecuencia se estabilizó el consumo en los países industrializados.

Se ha generalizado la percepción de los efectos ambientales negativos de la continuación del modelo energético basado en los combustibles fósiles, tanto en la dificultad de resolver los problemas de contaminación atmosférica en las áreas metropolitanas como en la posibilidad del efecto invernadero. Éste fue previsto por el químico Svante Arrhenius a fines del siglo XIX y se refiere a la acción de las moléculas de dióxido de carbono provenientes de la combustión de combustibles fósiles, que reflejarían y harían volver a la superficie terrestre parte de la radiación infrarroja que ésta emite, con lo cual aumentaría a largo plazo en varios grados la temperatura de la atmósfera, con probable fusión de los hielos polares e inundación de grandes áreas costeras hacia mediados del siglo próximo.

Otro problema igualmente serio, detectado por el químico Angus Smith desde 1872, es el de la lluvia ácida. Ésta se produce a partir de la formación de ácidos como el nítrico y el sulfúrico a partir de los óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre generados en los procesos de combustión y en contacto con



© Lorenzo Armendáriz, República Checa, 1998.

la humedad del aire. La lluvia ácida devasta los bosques y mata los peces en lagos y ríos, afectando la calidad del agua. Constituye un problema internacional porque sus efectos atraviesan las fronteras, a miles de kilómetros de los lugares en que se originan los contaminantes. Hasta ahora las medidas aplicadas en varios países europeos y en Estados Unidos para combatir este flagelo han consistido en utilizar carbón con menor cantidad de azufre, pero en el caso de China, país que ha experimentado un rápido proceso de industrialización y que utiliza el carbón como principal recurso energético, se ha negado a tomar medidas.

Durante muchas décadas la abundancia de petróleo barato y la falta de percepción de los efectos de la contaminación ambiental constituyeron un obstáculo para el desarrollo de tecnologías alternativas. Ya mencionamos que la aplicación de la energía hidráulica para la generación de electricidad se desarrolló desde fines del siglo XIX. Sin embargo, muchas centrales hidroeléctricas pequeñas fueron abandonadas en Estados Unidos en las primeras décadas del siglo XX debido al bajo costo del petróleo.

Desde las primeras décadas del siglo XX se habían dado avances importantes en la geotermia, que utiliza vapor o agua a alta temperatura que se encuentra en áreas volcánicas. Una central geotérmica comenzó a funcionar en Italia en 1904, y continúa operando en la actualidad. En la década de 1940 aparecieron las celdas solares fotovoltaicas, que utilizan materiales semiconductores como el silicio para transformar en forma directa la radiación solar en electricidad.

La geotermia fue una de las formas de energía que experimentó un rápido avance después de la crisis energética de 1973. Se ha implantado en pocos países, como Estados Unidos, Japón, Nueva Zelanda, Filipinas, y en nuestro país. México se encuentra en condiciones particularmente favorables por la gran abundancia de fuentes termales. A partir de la década de 1950, los ingenieros mexicanos tuvieron un papel pionero en su desarrollo, con la construcción de una de las más grandes centrales geotérmicas actualmente existentes, la de Cerro Prieto en Baja California, con una potencia de 75 megavatios.

En conclusión, el espectacular desarrollo de las fuerzas productivas y de los medios de transporte desde la época de la Revolución Industrial estuvo asociado a la existencia de

energía abundante y barata y a los avances de la ciencia, que permitió comprender el funcionamiento de las máquinas térmicas, hacerlas más eficientes y construir nuevos dispositivos como los motores y generadores eléctricos que ayudaron a aumentar la productividad del trabajo. También permitió el derroche de los recursos energéticos, no sólo en el uso de automóviles grandes y en la implantación del automóvil como medio dominante de transporte, sino en otros aspectos, por ejemplo las enormes cantidades de gas natural que se quemaban o se perdían en la atmósfera, prácticas que continúan actualmente. El agotamiento de los recursos petroleros y los crecientes problemas de contaminación indican que la continuación del presente modelo energético basado en los combustibles fósiles no es deseable. La experiencia negativa de la energía nuclear muestra que el problema no es de solución fácil ni inmediata.

La creación de una conciencia acerca de la problemática ambiental ha llevado a una creciente aceptación de la necesidad del ahorro de energía y de la implantación de sistemas energéticos seguros y no contaminantes. Se trata de una tarea para el futuro cuya solución no puede provenir solamente de los avances de la ciencia, aunque éstos sean parte de la solución. La otra condición para ello reside en la formación de una voluntad política en millones de personas preocupadas por el futuro, y que se vuelven cada vez más conscientes que no se trata solamente de aumentar la disponibilidad de energía y de bienes materiales sino de asegurar una adecuada calidad de vida.

BIBLIOGRAFÍA

- Carswell, D., *The Norton History of Technology*, Norton, Nueva York 1994.
Derry, T.K., y Trevor Williams, *Historia de la tecnología, Siglo XXI*, México.
Foley, G., *The Energy Question*, Penguins, 1976.
Leff, E., *Medio ambiente y desarrollo en México*, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades-UNAM, México, 1990, 2 vol.
Reséndiz Núñez, D., *El sector eléctrico en México*, FCE, México, 1994.
Zórzoli, G.B., *El dilema energético*, Blume, Madrid, 1976.

Mauricio Schoijet ...