

Llamamos Revolución industrial al «proceso de transformación de las fuerzas productivas y de las relaciones de producción mediante el cual se desarrolló el capitalismo industrial». La singularidad histórica, de este acontecimiento radica, según Baldó, en la «aparición de la sociedad capitalista industrial», hasta entonces solo prefigurada. Y las principales características de las sociedades industrializadas, según el autor citado, son: (1) una nueva organización social de la producción, que se sirve de métodos técnicos nuevos; (2) el crecimiento, desconocido hasta entonces, tanto de la producción como de los mercados; (3) la estructuración novedosa de la nueva sociedad capitalista, distinta a las formas social-productivas anteriores, desarrollándose por un lado la clase llamada *burguesía* y generándose en consecuencia la clase del *proletariado*, que trabaja para la anterior. Los conflictos marcan, desde la configuración de ese nuevo momento histórico, las relaciones entre ambas clases.

Las revoluciones del siglo XVIII (II): la Revolución Industrial

Pedro Costa, *Ingeniero Técnico de Telecomunicación, Profesor de la EUITT de Madrid*

LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL Y LA EXPLICACIÓN DEL CAMBIO TÉCNICO

La Revolución industrial tiene una preparación larga en el tiempo. En su primera fase se desenvuelve con visible independencia y separación de la revolución científica y solo bien entrado el siglo XIX se producirá —con la electricidad, la química y la termodinámica— la confluencia y cooperación entre ciencia y técnica. Pero siempre se expresará como una función directa del ascenso de la burguesía como motor



James Watt

económico, lo que se producirá al tiempo que se van promulgando las leyes apropiadas para dar vía libre al capitalismo y se van produciendo los lentos avances técnicos que, a modo de soluciones ingenieriles a problemas acuciantes, abren el camino del desarrollo industrial. Derry y Williams señalan, como influjos que incidieron en el surgimiento de la Revolución industrial: (1) el sorprendente crecimiento de la población; (2) factores políticos como el alto grado de libertad personal y política en la Gran Bretaña del momento; (3) la guerra, siempre presente y estimulante en términos técnico-económicos; (4) la acumulación de capital y el incremento del comercio internacional,



en gran parte debido a la mejora de los transportes; (5) el sistema de leyes sobre patentes, instaurado en diferentes países; (6) la creciente significación industrial de las teorías científicas y matemáticas.

Habría que añadir tres notas, nada menores, a destacar en el ambiente social del momento del despegue industrial: el flujo hacia la burguesía de leyes favorables a sus intereses; el cercamiento de tierras que, viniendo del siglo XVI, sin embargo vive una aceleración sin precedentes precisamente en las últimas décadas del siglo (1760-1800), lo que multiplicará el número de campesinos desahuciados que ponen camino a las ciudades y acaban proletarizándose en

las nacientes fábricas¹; y la esclavitud, que vive su momento de máxima actividad durante el siglo XVIII, y sobre todo en su segunda mitad, debido a la demanda

de mano de obra en las colonias, suministradoras de materias primas a las metrópolis europeas. Un indicador interesante es que a lo largo del siglo anterior a

la Paz de París (1763), en la que Gran Bretaña se impone a Francia, la flota británica se multiplica por seis.

En todo este proceso es el *ambiente social* el elemento básico, al tiempo que complejo, lo que lo explica globalmente, siempre en sus coordenadas históricas. Esa revolución profunda, que llamamos burguesa, no se entendería sin tener en cuenta el contexto social, que es realmente el que genera los avances técnicos. Se trata, por lo demás, de un fenómeno muy británico, pero no sólo británico porque, simultáneamente, la Francia en ebullición intelectual de los *philosophes* y los positivistas hará que el siglo termine con una explosión de protagonismo y de aportaciones singulares del mayor interés, también, para el desarrollo industrial.

En todo caso, el inicio de la Revolución industrial marca el momento en que la burguesía movida por la doctrina polí-

«El inicio de la Revolución Industrial marca el momento en que la burguesía liberal alcanza el poder»

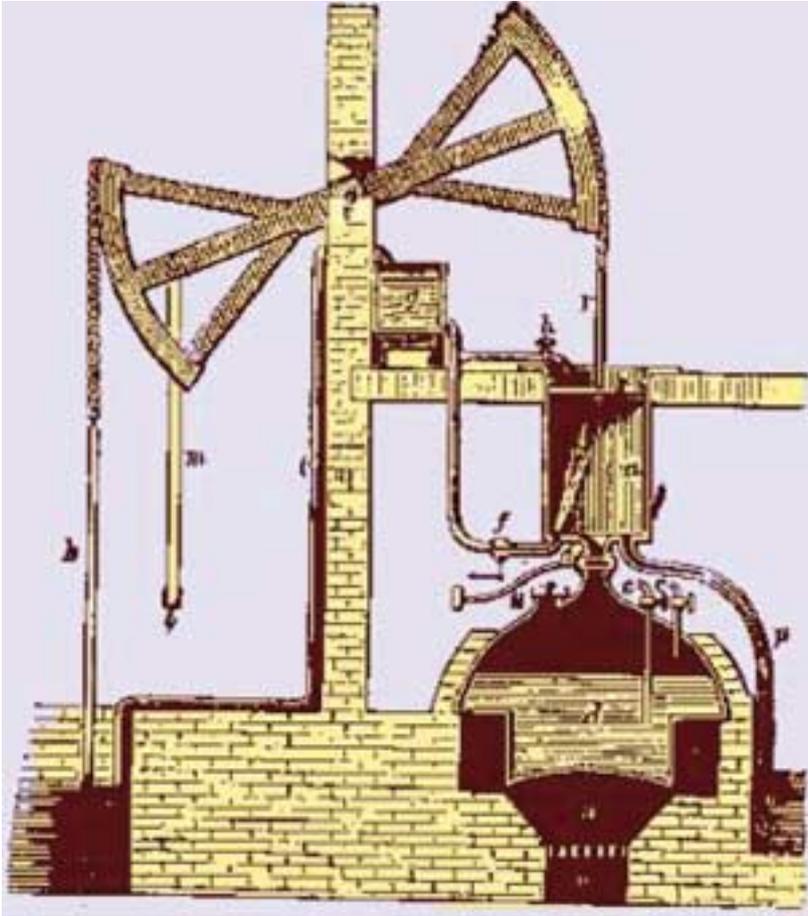
tico-económica liberal alcanza el poder, lo que en el caso británico viene señalado por un proceso que arranca del periodo revolucionario de los años de 1640-89, consolidándose a lo largo del siglo XVIII. Hay general acuerdo en fechar el primer periodo de este empujón de desarrollo industrial sin precedentes haciéndolo coincidir con el reinado de Jorge III (1760-1820), siendo muy numerosas las fechas significativas en la década de 1760 en cuanto a logros industriales (y político-internacionales) de la potencia británica².

INGENIEROS Y CIENTÍFICOS ANTE LA MÁQUINA DE VAPOR

La historia de las técnicas muestra que después de que se hubieron resuelto los problemas de la navegación se aco-



Máquina de vapor.



metieron los de la industria, a impulsos de los avances científicos en general y del progresivo protagonismo de la burguesía. Así se opera el gran cambio, del empleo industrial de la leña al del carbón, que es un acontecimiento fundamental en el siglo XVIII. Tras el logro del cronómetro marino la misma tradición artesanal se lanza a depurar la máquina de vapor; todo ello tras una cierta «crisis baconia-

y las máquinas eléctricas, que son casi simultáneas con el motor de explosión (de petróleo) y con la industria automovilística. Efectivamente, entre la lanzadera volante de Kay (1733) y el telar mecánico de Cartwright (1785) y la desmotadora de algodón de Whitney (1793) queda marcado todo un itinerario que, además de desvelar complejidad técnica, marca el paso del uso de la fuerza del agua a la del

«La máquina de vapor desarrolló la industria textil, la minera y los transportes, propiciando a su vez la máquina eléctrica»

na», es decir un vacío llamativo tanto en ciencia como en pensamiento científico, lo que se atribuye a la incapacidad para construir aparatos («invenciones útiles»).

La industria textil —artesanal y manufacturera mucho antes que fabril— es la primera; luego, con la máquina de vapor se desarrollará la minera, la de los transportes, la de la máquina-herramienta... hasta la expansión de la electricidad

vapor, es decir, del fuego, que presentaba la ventaja, enorme, de no depender del emplazamiento del recurso sino de la disponibilidad del combustible.

Por eso se dice que la revolución industrial se gesta en la mina, la mina de carbón, y que estaba ya en marcha antes de generalizarse el uso de la máquina de vapor. Fue precisamente debido a las necesidades crecientes de la minería del

carbón, que implicaba la extracción del agua de las galerías, por lo que se fue abriendo camino el empleo de la máquina de vapor, ya que antes ese problema se resolvía utilizando caballerías para mover las bombas; fue debido a esta urgencia por lo que la máquina de vapor experimentó rápidas mejoras sucesivas a lo largo del siglo XVIII, hasta convertirse en el artefacto protagonista de un proceso que superaría todas las expectativas.

De la larga relación de avances en máquinas de vapor³, en los que se mezclan los esfuerzos de científicos y, sobre todo, de técnicos (artesanos), debemos remontarnos a los trabajos atmosféricos de Torricelli, Pascal y Huyghens en el siglo XVII, con especial detenimiento en Denis Papin (1647-1712), discípulo de Huyghens, quien construyó en 1690 una máquina de émbolo (consiguiendo un «vacío perfecto») en la que la fuerza motriz era ya el vapor de agua. Muy seguidamente se fueron produciendo avances sobre estas máquinas, a manos de Thomas Savery (máquina extractora que llamó «el amigo del minero», de vapor a alta presión, en 1699), Thomas Newcomen (que utilizó el cilindro y el pistón de Papin, en 1712, y acabó asociándose con Savery para conseguir la primera máquina que convertía calor en trabajo a gran escala) y John Smeaton, ingeniero civil que se interesó por estudiar e incrementar el rendimiento de la máquina de vapor.

Pero los avances más importantes vendrán de la mano de James Watt (1736-1819), que se decide a mejorar las máquinas de Newcomen, después de construir las él mismo. Este escocés, que había construido instrumentos matemáticos como mecánico de precisión en la Universidad de Glasgow, se interesaría tanto por los problemas mecánicos como por los teóricos (uniéndose en él la ciencia aplicada y el método científico), dando el paso de gigante que suponía pasar de la máquina atmosférica a la de vapor propiamente dicha, que utilizaba un condensador que enfriaba el vapor y permitía reutilizarlo, incrementando así notablemente el rendimiento respecto del diseño de Newcomen.

Efectivamente, Watt fue el primero en idear la utilización de un condensador separado, patentando su nueva máquina en



1769 (aunque no entró en funcionamiento hasta 1776). De su amigo el médico Joseph Black obtuvo información sobre el calor y ayuda financiera, y asociado con John Roebuck, químico, construyó sus primeros modelos de prueba. Lo decisivo fue, sin embargo, el asociarse con Matthew Boulton (1728-1809), importante industrial de Birmingham, con el que llegó a construir unas 500 máquinas antes de que finalizara el siglo⁴. De esta asociación surgieron importantes mejoras, destacando un regulador centrífugo y, sobre todo, el uso de una manivela que lograba convertir el movimiento lineal en rotatorio, novedad que ya pudo introducirse a partir de 1786. También fue afortunada su asociación con John Wilkinson, quien había inventado en 1774 una máquina de taladrar que barrenaba cilindros.

Las aplicaciones de la máquina de vapor pronto superaron el bombeo del agua de las galerías mineras y ampliaron su espectro de aplicaciones, destacando la industria textil (las *selfactinas*) y la siderurgia. Algo prematuros, los primeros intentos de aplicar esas máquinas a la navegación tuvieron lugar en Francia en los ríos Sena y Saona, sin grandes resultados.

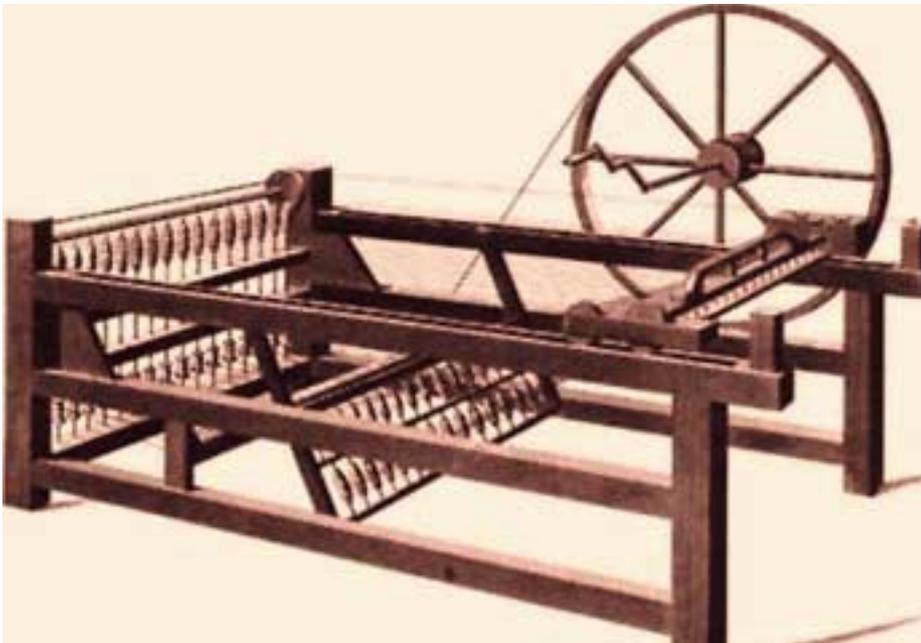
Hay que destacar el auge, en las últimas décadas del siglo, de las má-

«Los primeros intentos de aplicar la máquina de vapor a la navegación tuvieron lugar en Francia en los ríos Sena y Saona»

quinas herramientas mejoradas, las «máquinas para hacer máquinas», características también de la Revolución industrial, que se desarrollaron especialmente en Estados Unidos. Y como anuncio del futuro auge del ferrocarril se empezaron a fabricar carriles de hierro en 1767, en la famosa fundición de Coalbrookdale.

LAS REDES: FILOSOFÍA Y TÉCNICA

El proceso de racionalización del mundo, simultáneo con la Revolución científica, se expresa de forma global y abarca las ideas, los razonamientos y las técnicas (cuando menos). En la historia europea adquiere formas diversas, ostentando gran influencia una de ellas, la militar, ya que da lugar a una nueva organización del espacio. El concepto de *red* en materia de infraestructuras de transporte y también de comunicaciones procede del siglo XVII y de la «ideología militar» de Vauban y su sistema de fortificaciones, pero adquiere forma ampliada y actualidad «civil» con la construcción de canales, las expansión de las carreteras y la implantación del telégrafo óptico (lue-



Máquina Spining.

go, ya dentro del siglo XIX, se relanzaría espectacularmente con el ferrocarril y el telégrafo eléctrico). Las reflexiones democráticas que ya había suscitado el telégrafo óptico reavivaban el mito del ágora de discusión democrática que ese medio técnico podía facilitar en el caso de naciones extensas. El sueño de la comunicación

En este siglo maravilloso la opinión pública recibe asombrada las noticias sobre la creación de criaturas artificiales, obra de hábiles artesanos como Vaucanson y Jaquet-Droz. El primero construyó a partir de 1737 tres criaturas: un *flautista* que interpretaba diferentes canciones y en función de ellas movía la

«El portentoso siglo XVIII también aportó la ciencia estadística, un instrumento esencial para políticos, ingenieros y sociólogos»

instantánea y global —sueño que es también típico producto de la Ilustración— inspiró el impulso de los sistemas de transporte y, también, las nuevas ideas sobre comunicación. Se trata del «discurso redentor de la comunicación a distancia», en expresión de Mattelart.

La *red*, la *retícula* con sus *nodos*, las *tramas*... estructuran conceptual y funcionalmente la sociedad europea del siglo XVIII, y con ellas se impregna la ciencia entera, sea mecánica, astronómica, militar, biológica o social. El gran matemático Euler (1707-83) consagra las figuras del *árbol* y la arborescencia en la ciencia topológica (*Mecánica racional*, 1736) para resolver los problemas de la distancia más corta (o más económica), además de construir numerosos mecanismos.

boca y las manos, una *muchacha* que tocaba el tambor y la mandolina, moviendo cabeza y pecho, y un *pato* que comía, bebía y hacía la digestión, mostrando sus mecanismos tras una piel transparente. El segundo construyó entre 1768 y 1774 varios mecanismos humanoides —el *escribiente*, el *artista*, la *dama de la música*— con miles de piezas, que imitaban los movimientos humanos de forma casi perfecta. Por su parte, el médico y filósofo La Mettrie (1709-51) publica *El Hombre máquina* (1747) y exhibe el concepto de *sistema*, para decir que el cuerpo humano es un inmenso mecanismo de relojería. La interconexión, como función y nueva complejidad, será el siguiente paso. El auge a las infraestructuras del transporte y las comunicaciones, y el subyacente impulso militar, coincidirán

en un momento decisivo cuando Chappe (1763-1805) monte la primera línea de telégrafo óptico entre París y Lille, en agosto de 1794, para informar de los movimientos de tropas austriacas hacia el territorio francés: aquí se fecha el inicio de lo que hoy entendemos por *telecomunicaciones*.

La Francia ilustrada que estalla en la Revolución nos aporta un personaje ineludible, el conde de Saint-Simon (1760-1825), que entre otras actividades se entrega a la misión de extender el sistema industrial, que adapta a la analogía organicista y se basa en el fisiólogo Bichat (1771-1802), cuyas investigaciones sobre los tejidos vivos lo inspiraron en su entusiasta defensa de las redes vivas de intercomunicación social y económica, sugiriéndole de paso la expresión *fisiología social* para sus teorías. Saint-Simon, personaje inclasificable, pretende desde dentro del sistema capitalista reconducir la desordenada evolución del propio sistema introduciendo orden a partir de un cuerpo doctrinal eminentemente científico y de un grupo de promotores identificados con el «espíritu industrial».

No debemos dejar de lado que este portentoso siglo XVIII asiste también al nacimiento de la *estadística*, que resultará un instrumento esencial para políticos, ingenieros y los futuros sociólogos, atribuyéndose al politólogo prusiano Achemwall (1719-72) la creación del término, *Staatwissenschaft*, ciencia del Estado.

EL IMPULSO REVOLUCIONARIO FRANCÉS: LA ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Aunque el carácter de los avances técnico-industriales es, en la segunda mitad del siglo XVIII, esencialmente británico, el periodo revolucionario francés iniciado en 1789 imprime un enorme impulso al mundo del conocimiento, de la técnica y, también, de las creaciones científico-educativas. Un hito singular es la *École Polytechnique*, fundada en el tremendo año revolucionario de 1794. Surgen cuando Francia, pese a la agitación política revolucionaria, ha conseguido si-

«El ingeniero inglés exhibía una alta preparación práctica, lo que fue fundamental para el desarrollo industrial del país»

tuarse a la cabeza de Europa en los principales campos y disciplinas del saber, sobre todo en las ciencias físico-matemáticas. Como señala Cortés, «la *École Polytechnique* se ideó bajo la pretensión de convertirla en una plataforma a través de la cual influir en el desarrollo tecnológico... inaugura la era de la razón industrial, la educación se convierte en el motor del progreso de la sociedad... se creó basada en una muy *sui generis* confianza en la jerarquía, en la garantía del orden como principio del progreso... se constituyó sobre tres ejes vertebradores: una *ideología* específica, la ideología sansimoniana asociada al industrialismo; una *filosofía*, el positivismo; y un *instrumento*, las matemáticas y el cálculo, generalizables a todo el *ordo* material y espiritual del hombre, incluida la sociedad».

Hay que tener en cuenta que, aun denominándose *politécnica*, en realidad esta escuela acogía una amplia gama de disciplinas y carreras científicas, siendo la base de la formación común la geometría descriptiva (o «arte de proyectar»). Gaspard Monge (1746-1818), prestigioso matemático, fue el principal artífice de esta creación académica. Entre los profesores y alumnos de los primeros años de la Politécnica figuran grandes personalidades de todas las disciplinas, como Laplace, Coriolis, Fourier, Ampère, Gay-Lussac, Arago, Cauchy, Volta, Fresnel, Biot, Rumford, Von Humboldt, Le Play... todos ellos legítimos y entusiastas herederos del espíritu ilustrado y enciclopédico. Así, el centro de gravedad del trabajo científico en Francia pasó desde la *Académie Royale de Sciences* (creada en 1666) a la *École Polytechnique*, así como a la *École Normale Supérieure* y la *École de Santé*, ambas creadas también en 1794. Junto con Monge, destaca la figura fundacional de Lazare Carnot (1753-1823)⁵. La reconstrucción de la sociedad tenía que ser, necesariamente, una obra

de ingeniería, y de ahí la importancia de la Politécnica como institución catalizadora de las grandes reformas sociales que exigía el siglo

A diferencia del ingeniero inglés, que no posee una formación académica especializada pero que exhibe su preparación práctica de forma consustancial con el ritmo de la Revolución industrial (de la que es protagonista indiscutible), el ingeniero francés, y en gran medida el continental, es casi siempre un ingeniero de Estado, un tecnócrata de intenso sentido corporativo y siempre vinculado a la acción estatal. Respecto de sus homólogos británicos los politécnicos presentaban otra diferencia, que era su concepción *organicista* (sansimoniana) de la sociedad, privilegiando la producción y la organización; por su parte, los ingenieros liberales se expresaban desde una concepción *mecanicista* de su trabajo, apoyándose en el mercado como ámbito significativo de la libertad y la democracia. Para los politécnicos franceses la sociedad/democracia era concebida como una *fábrica*, mientras que para el pensamiento liberal anglosajón se trataba más bien de un auténtico *mercado*.

Es en este ambiente politécnico en el que prospera, en primer lugar, la visión positivista del mundo y de la nueva sociedad, que ha de ser dirigida por «sabios positivos», lo que en sentido sansimoniano significará empresarios, ingenieros y banqueros; y en segundo lugar surge el pensamiento sociológico. Los primeros sociólogos son franceses y politécnicos (Saint-Simon, Comte, Le Play), y sabrán trasladar el espíritu ingenieril y matemático, marcado por el entusiasmo ante la física newtoniana, a las ciencias sociales. Pero figurarán otros ingenieros (Spencer, Pareto) entre los primeros fundadores de esta nueva ciencia, que el propio Comte (1798-1857) la empezará llamando *física social*. ●

BIBLIOGRAFÍA

- BALDÓ, Marc (1993): *La Revolución industrial*, Síntesis, Madrid.
- CORTÉS, Francisco J. (2006): *La École Polytechnique y la bifurcación ideológica de Occidente*, Universidad de Almería, Almería.
- DERRY, T. K. y WILLIAMS, T. I. (2002): *Historia de la tecnología. Desde 1750 hasta 1900*, vol. 2 (I), Siglo XXI, Madrid.
- MATTELART, Armand (2001): *Histoire de la société de l'information*, La Découverte, col. «Repères», París.
- SERRES, Michel (ed.) (1991): *Historia de las ciencias*, Cátedra, Madrid.

NOTAS

¹ Marx alude en *El Capital* (1867) al «proceso violento de expropiación de la masa campesina», destinado a favorecer la agricultura capitalista y que generó los contingentes de proletarios necesarios para alimentar la nascente industria. Conviene tener en cuenta esta relación, de carácter inverso, entre agricultura e industria.

² Como el Tratado de París, 1763, con el que termina la Guerra de los Siete Años, por el que Gran Bretaña arrebató a Francia inmensos territorios en el Indostán y Canadá, entre otros. O la fabricación de la primera máquina *jenny* de hilar (1764); o el registro de la patente de Watt de su máquina de vapor (1769)...

³ La filosofía griega tenía muy en cuenta que de los cuatro elementos esenciales el agua, el fuego y el aire (a los que se unía la tierra) se relacionaban entre sí. Herón de Alejandría en el siglo I d. C. construyó una máquina («esfera de Eolo», o *eolípila*) en la que un chorro de vapor se proyectaba sobre una rueda y la hacía girar (además de realizar numerosos trabajos en neumática, hidráulica y óptica).

⁴ La firma Boulton & Watt funcionó de forma ejemplar desde 1775 hasta que venció la patente de la máquina de Watt en 1800, retirándose entonces ambos protagonistas y pasando el negocio a sus hijos respectivos.

⁵ Lazare Carnot es primera figura de una saga muy significativa en el momento histórico que describimos. Ingeniero militar, publicó un *Essai sur les machines en général* (1783), que le dio gran prestigio. Intervino en política durante la mayor parte del periodo revolucionario (con éxitos en materia militar, como organizador y estratega) y con Napoleón, así como en la Restauración. Es considerado, con Monge, fundador de la geometría moderna. Famosos fueron también sus hijos Sadi, politécnico, al que se le atribuye la fundación de la ciencia termodinámica con su famosísimo *Réflexions sur la puissance motrice du feu* (1824) y, en menor medida, Hippolyte, muy vinculado a su hermano y, por lo tanto, al poderoso círculo de los politécnicos.