

El caballo de fuerza

Carlos Eduardo Sierra C.

La exploración medieval de fuentes de energía

Desde hace años, se capta toda una pasión por la Edad Media, manifiesta en programas de televisión, al igual que en libros y revistas. No obstante, esa pasión ha surgido más que todo en Europa y Norteamérica, con escasa repercusión en este lado del Atlántico hasta donde cabe decir. De facto, esto no deja de ser paradójico, habida de cuenta que somos parte del Extremo Occidente. Pero, ¿es esta cultura consciente al respecto? Ahora bien, a despecho de la pasión antedicha, deja bastante que desear la atención concedida a propósito de la historia de la tecnología medieval, bastante mal conocida, las más de las veces, incluso por parte de ingenieros y científicos. Sobre todo, en el otrora llamado Tercer Mundo. Así las cosas, este ensayo entra a elucidar el origen y la consolidación del caballo de fuerza, concepto clave en el auge de la Revolución Industrial al darse el paso del nivel artesanal de producción al industrial, basado éste en el maquinismo.

Como quiera que sea, a la hora de acercarse al tema, una fuente de obligada referencia es un libro de Lynn White titulado *Tecnología medieval y cambio social*, que sigue siendo válido en la actualidad, pese al tiempo transcurrido desde su primera edición, casi cinco décadas atrás.¹ Justamente, ella es quien habla del descubrimiento del caballo de fuerza, cuestión

que suscita un par de buenas preguntas: ¿por qué el caballo de fuerza fue un descubrimiento en vez de una invención? ¿Y por qué precisamente en el Medioevo? Como quiera que sea, el libro señalado de la investigadora inglesa mantiene su vigencia, máxime por el hecho que la publicación insignia de la prestigiosa Sociedad Newcomen, *Transactions of the Newcomen Society*, sita en el Reino Unido y dedicada a la investigación en el campo de la historia de la ingeniería y la tecnología, escasea en artículos dedicados al tema que aquí nos ocupa.

El arado tuvo una aplicación vasta en la Europa septentrional, como un primer aspecto importante de la Revolución Agrícola de la Alta Edad Media. La segunda fase fue la invención del arnés, o arreo, que, junto con la herradura de clavos, convirtió al caballo en una ventaja económica y militar, máxime en regiones húmedas como el norte de Europa, en las cuales el casco del caballo se ablanda, con el consecuente desgaste fácil y rápido. En fin, en el siglo XI, las ventajas de la herradura fueron notorias tanto para el campesino como para el señor feudal. Pero, con todo, sin un arnés que le permitiera desarrollar su fuerza de tracción, el caballo herrado tenía escasa aplicación para arado y transporte. De acuerdo con Lynn, Lefebvre des Noëttes demostró que un tiro de caballos puede arrastrar 500 kilos con arnés de yugo,

mientras que si se emplea arnés de collera puede arrastrar un peso cuatro o cinco veces mayor (Imagen 1). Más aún, aunque el caballo y el buey ejercen casi la misma fuerza de tracción, el caballo es más rápido, al punto de rendir un 50% más que el buey en cuanto a peso desplazado por unidad de tiempo. Además, el caballo tiene mayor resistencia que el buey, lo que le permite trabajar una o dos horas más por día. Entre otras cosas, esto permite mejor el rastreado. De esta suerte, el caballo sustituyó al buey como animal principal de la granja.

Además, la mayor velocidad del caballo le permitía al campesino recorrer una distancia mucho mayor, circunstancia que le permitió vivir más lejos de sus campos. Así, la relación geométrica entre el radio de un círculo y la superficie de éste rigió la forma de redistribuir los poblados. Con el uso de caballos, aumentó sobremanera la superficie arable que podía explotarse desde una aldea. Esto significó que regiones extensas, otrora salpicadas de caseríos minúsculos, terminaron como terrenos cultivados, dominados por grandes aldeas que, si bien conservaron su economía agraria en buena parte, arquitectónicamente hablando, adquirieron una urbanidad notoria.

Avanzada la Edad Media, esta urbanización de los trabajadores agrícolas hizo cambiar el foco de la cultura occidental, que se desplazó del campo a la ciudad. Por lo demás, si tomamos en cuenta que esta urbanización del Medioevo cristiano favoreció la condensación universitaria de aquellos días, no cuesta asociar el origen de la institución universitaria con las innovaciones tecnológicas señaladas más arriba, si bien no es posible afirmar que se trató de una causa exclusiva al respecto. De hecho, la compleja causalidad inherente al nacimiento de la universidad está bien descrita por el padre Alfonso Borrero Cabal, S.J.³

Ahora bien, lo que cabe denominar como exploración medieval de fuentes de energía no se limitó a caballos y bueyes. De hecho, la ingeniería mecánica conoció un desarrollo interesante, sobre todo en el seno del Islam, tanto oriental como occidental. En tales casos, encontramos un uso ingenioso de las propiedades elásticas de gases y vapores, junto con el agua, para hacer funcionar mecanismos diversos, no siempre sencillos, tales como relojes, cuyo diseño implicó regular la distribución adecuada de la energía por todo el dispositivo. En el caso del uso del agua como

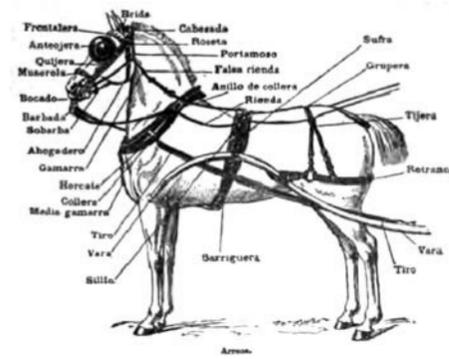


Imagen 1. Arnés de collera²

fuerza motriz, el diapasón de aplicaciones respectivo comprendió así mismo el mejoramiento de la rueda hidráulica, conocida desde la antigüedad. Ésta fue un artefacto que gozó de amplio uso en toda Europa gracias a la labor de ciertas órdenes monásticas, auténticas corporaciones de monjes ingenieros, como los benedictinos, los cistercienses y los templarios.⁴ En especial, la orden benedictina hizo amplio uso de la rueda hidráulica, dado el sentido mismo de la regla de San Benito, esto es, *Ora et labora*, puesto que sólo aprovechando dicha rueda en las tareas manuales tediosas, como la molienda de grano, los monasterios podrían hacerse autosuficientes y liberar tiempo para que los monjes se dedicasen al estudio y la oración sin la perturbación del mundo exterior. Así las cosas, la maquinaria hidráulica empezó a arrinconar al trabajo manual mucho antes del siglo XVIII. Terry S. Reynolds ha demostrado con elocuencia tal uso del agua.⁵

Detallemos más los aportes del Islam, puesto que si un milenio atrás hubiese existido el premio Nobel, hubiera quedado en manos de sabios musulimes, dado lo avanzado de su ciencia y tecnología.⁶ En el caso especial de la ingeniería mecánica, los ingenieros musulmanes idearon mecanismos de lujo, incluso anticiparon el mecanismo de biela-manivela y el control por retroalimentación,⁷ si bien no faltaron los extravíos intelectuales ligados a la creencia en la posibilidad del movimiento perpetuo, de lo cual hay un buen ejemplo en el quinto opúsculo del *Libro de los secretos acerca de los pensamientos*, obra del ingeniero andalusí de la segunda mitad del siglo XI Ahmad ibn Jalaf al-Muradi; opúsculo dedicado a enseñar la construcción de los móviles perpetuos conocidos en la época, denominados como “ruedas hidráulicas que se mueven por sí mismas” por su autor.⁸ En fin, como

puede verse, desde antiguo, el ser humano ha buscado superar con máquinas el esfuerzo logrado por medio de animales.

Por otra parte, la Edad Media aportó dos soluciones al problema de la transformación del movimiento rotatorio en lineal, necesaria para accionar martillos hidráulicos: la leva y la biela. A fin de comprender los principios subyacentes en ambos dispositivos, observemos las imágenes tomadas de Terry S. Reynolds (Imagen 2). Igualmente, la lámina del libro de Agricola, *De re metallica*, incluida por Reynolds (Imagen 3), la cual nos muestra la leva y la biela en funcionamiento en maquinaria real de la época.

Propiamente, una idea del uso amplio de la tecnología hidráulica en la Europa medieval la tenemos en el hecho de que, en 1304, se atribuyó, en parte, la deforestación de la región de Vizille, en el sureste de Francia, a la proliferación de serrerías hidráulicas. Por tanto, en sintonía con Reynolds, digamos que la Revolución Industrial tuvo raíces medievales desde el punto de vista del uso extendido de maquinaria con fines que hoy llamamos industriales. En realidad, antes de concluir el siglo XVI, unos 40 procesos industriales distintos dependían de la energía hidráulica. Luego, entre 1550 y 1750, dicha energía se extendió a otros procesos.¹¹ Digámoslo, siguiendo a Reynolds, con cifras más concretas: hasta bien entrado el siglo XIX, la potencia media de los ingenios de vapor estaba por debajo de los 20 caballos de fuerza. Incluso en 1835, las fábricas de algodón maquinizadas no alcanzaban más de 35 caballos. Pues bien, concentraciones de energía como éstas no eran raras en las fábricas hidráulicas entre el siglo IX y mediados del XVIII. En consecuencia, resulta bastante atrevido fijar los comienzos de la Revolución Industrial a fines del siglo XVIII con las primeras fábricas textiles de algodón inglesas mecanizadas y bajo la suposición de la hegemonía de la nueva tecnología del vapor. Más todavía: en el siglo XIII, había surgido en Toulouse una división entre capital y trabajo similar a la de las primeras fábricas inglesas de algodón; esto es, los molinos eran propiedad de inversionistas, mientras que los molineros eran empleados. En estas condiciones, a juzgar por lo que nos aporta Terry S. Reynolds, han pecado de ligereza no pocos historiadores de la ciencia y la tecnología. Nada raro.

Por su lado, E. A. Wrigley, desde el punto de vista de la economía, desarma así mismo la pretensión del

marbete de Revolución Industrial cual suceso sin precedentes.¹² En forma concreta, él destaca que es engañoso pensar que, antes y después de la revolución de marras, hubo períodos de relativo estancamiento separados por un período de cambio febril y efervescente, como tampoco fue tal revolución un fenómeno unitario y progresivo. Por añadidura, durante los siglos XVII y XVIII, la economía inglesa se había alejado con lentitud del modelo predominante en la Europa occidental continental. En realidad, la transformación que originó la Revolución Industrial tomó más de dos centurias. Y, para colmo de ironías, no hay duda acerca del aumento notorio de los ingresos per cápita en los períodos anterior y posterior con referencia a la revolución que aquí nos ocupa, en contraste con el período intermedio, en el cual los ingresos pueden muy bien haber quedado confinados a ciertos sectores de la población. Desde luego, cabría esperar que, en medio de una Revolución Industrial, el ingreso per cápita hubiese sido mayor en relación con los períodos de antes y después. Empero, los hechos fueron otros, y bien tozudos.

Una dimensión mal conocida del Siglo de Oro

El Siglo de Oro español ha recibido buena atención por parte de los investigadores en campos como las letras y las artes, en marcado contraste con la ciencia y la tecnología, campo acerca del cual se ignora casi todo, como nos advierte con tino el profesor Nicolás García Tapia, al punto que persiste todavía el tópico de la falta de aptitud de los españoles para la técnica y la invención, en enojosa conformidad con la frase de Miguel de Unamuno: “Que inventen ellos”. Empero, como advierte el profesor mencionado, fue justo en la técnica y en la ingeniería donde España dio sus mejores frutos, cosa lógica por demás si reparamos en que un imperio carece de sustento sin buenos ingenieros e inventores. En general, los ingenieros renacentistas partieron de un mundo tecnológico que estaba prácticamente por desplegar. En suma, conviene aplicar una sabia advertencia del buen profesor García: “Antes de polemizar sobre algunos temas, hay que estudiarlos con más profundidad”.

De entre los ingenieros al servicio de la monarquía hispánica por aquellos días ya lejanos, Jerónimo de Ayanz y Beaumont destaca como el más importante, noble navarro para más señas.¹³ Su fama fue tal que

el escritor Baltasar Gracián, en su obra *El Criticón*, recuerda con admiración la fortaleza física de Ayanz, quien era capaz de romper una baraja con una mano. Debido a su vigor y valentía sobresalientes, se le conoció como “el caballero de las prodigiosas fuerzas”. Así mismo, Lope de Vega y Carpio le rindió homenaje a Ayanz, cuatro años después de la muerte del noble navarro, en su comedia titulada *Lo que pasa en una tarde*. Por su parte, el profesor García recoge con acierto los méritos de Ayanz al denominarlo como el Da Vinci español. No es para menos.

En especial, detengámonos en lo atinente a sus méritos como inventor. En cosa de cuatro años, entre 1598 y 1602, concibió medio centenar de invenciones; una cifra realmente impresionante, con la que superó al propio Leonardo da Vinci, máxime que fueron inventos que funcionaron. De entre éstos, destaquemos un curioso mecanismo llamado “ingenio de vaivén”, el cual permitía transmitir con facilidad el esfuerzo de un hombre, manejando un pedal y tirando de un cable. Además, a fin de medir la energía desplegada por la máquina, lo que Ayanz llamó “fatiga”, había un medidor de balanza que consistía de una pesa que podía deslizarse por un brazo oscilante, como en una romana. En suma, el producto del peso por el brazo da el trabajo de la máquina. Al relacionarlo con la fuerza humana, brinda el rendimiento del mecanismo. De esta suerte, fue una anticipación temprana de las medidas de rendimiento de las máquinas que, siglos después, llevarán a cabo Prony y Smeaton. Así, Ayanz dio un salto cualitativo significativo en relación con los logros técnicos del Medioevo.

No sólo eso. Nuestro caballero anticipó el uso industrial de la energía del vapor, manifiesto en su concepción de los eyectores de vapor, principio que aprovechó para renovar el aire de una mina o de una habitación, verdadero precedente del aire acondicionado. Ahora bien, la principal preocupación del noble navarro fue el desagüe de las minas, para lo cual concibió una máquina de vapor, un siglo antes que Thomas Savery en las islas británicas. Propiamente, hizo uso del principio del sifón, gracias a la energía expansiva del vapor producido en una “bola de fuego” hecha de cobre (caldera en lenguaje de hoy), con lo que pudo elevar el agua hasta una cierta altura, haciéndola entrar en unos depósitos a los cuales llegaba el vapor a presión. Luego, éste impulsaba el agua hasta alturas

inconcebibles para ese tiempo. Ahora bien, el diseño de Savery es tan, pero tan, similar al de Ayanz que el profesor Tapia no descarta la posibilidad de plagio por parte del inglés.

Lo dicho hasta aquí sugiere un surgimiento y consolidación gradual de lo que, a mediados del siglo XIX, sobre todo en el período que va de 1830 a 1850, terminará por ser el principio de la conservación de la energía o primera ley de la termodinámica.¹⁴ Entretanto, luego de Jerónimo de Ayanz, tendremos, cual sucesos significativos, los experimentos de Galileo Galilei con péndulos; un artículo de Isaac Newton titulado “Heat”, en el cual aparece su célebre ley del enfriamiento, con la formulación de dos escalas de temperatura: una lineal y otra geométrica; y los aportes del inglés John Smeaton, padre fundador de la ingeniería civil. En especial, interesa detenernos ahora a propósito de Smeaton, con motivo de sus investigaciones en relación con las ruedas hidráulicas.

El nacimiento del concepto de trabajo

Hoy día, el concepto de trabajo es cosa típica en cualquier libro de física, termodinámica y fisicoquímica que se respete. Incluso, ciertas escuelas económicas, como la de Jeremy Rifkin, lo han incorporado al haber acogido los principios termodinámicos. Sin embargo, lo que los libros de marras no suelen incluir es lo concerniente a los orígenes de dicho concepto. Por lo pronto, a la luz de lo ya apuntado, tenemos que la Edad Media aportó el nacimiento del caballo de fuerza merced al desarrollo de una tecnología orientada a la obtención del mayor esfuerzo posible en lo que a los nobles brutos concierne. Esto arrojó una forma de entender el rendimiento de un caballo o un buey en términos de peso desplazado por unidad de tiempo. A esto lo llamaríamos, en principio, *potencia* en lenguaje actual. Empero, no parece que el Medioevo haya logrado tanta comprensión al respecto. Será menester esperar al Siglo de las Luces. La idea de energía no surgió tan de repente.

Angelo Baracca ha sido muy oportuno con una investigación en tal sentido.¹⁵ En concreto, él trata el surgimiento y desarrollo de los conceptos de trabajo y energía en el contexto de la mecánica práctica en el seno de la Revolución Industrial inglesa. Es decir, es un enfoque externalista que arroja nuevas luces sobre el particular. Ahora bien, recalquemos que ambos con-

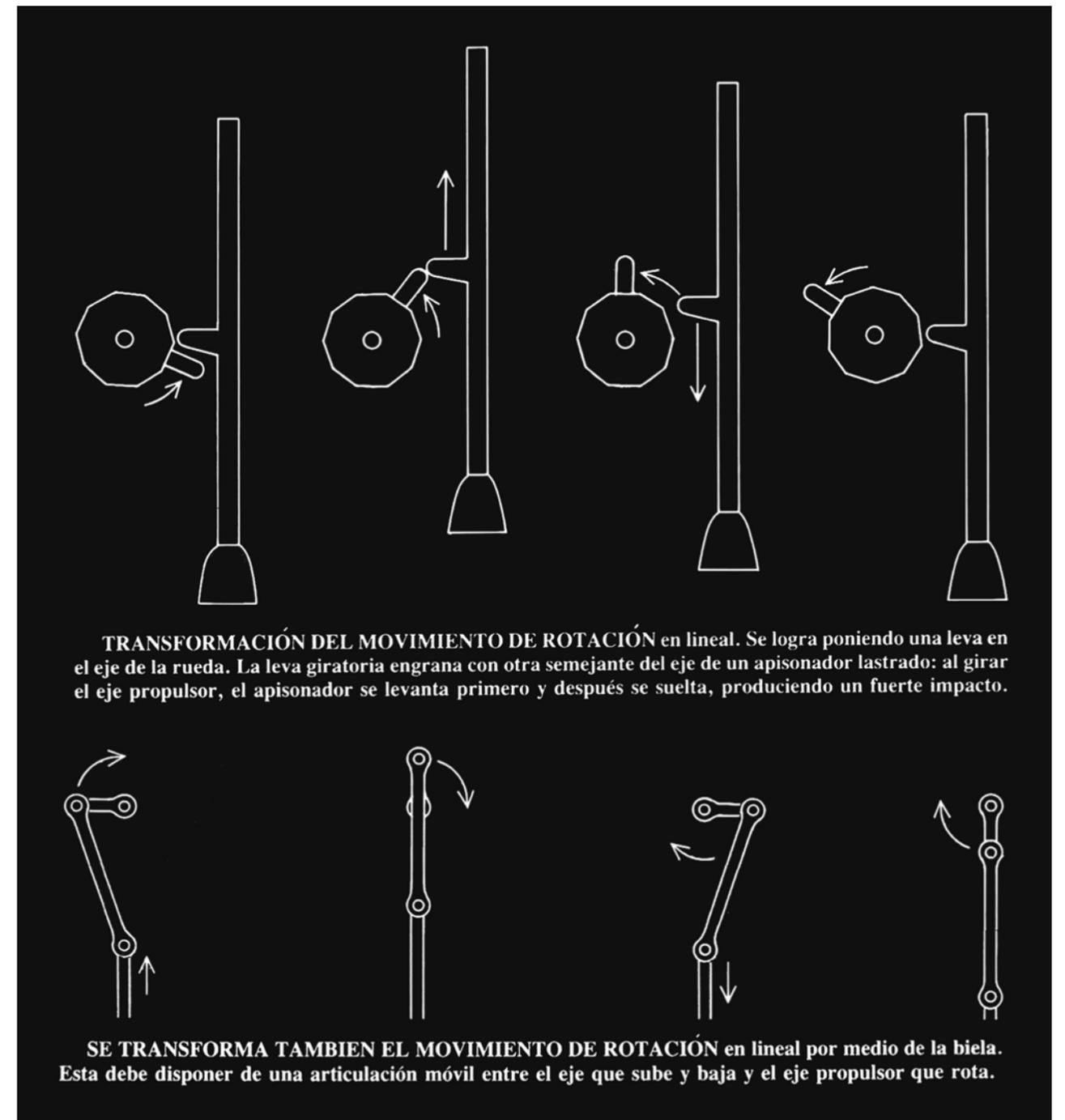


Imagen 2. *La leva y la biela*⁹

ceptos nacieron de la mecánica práctica, de un mundo técnico en contacto permanente con los problemas suscitados por el nuevo sistema productivo, problemas ligados a la necesidad de fuentes de energía generada por el nuevo sistema de factorías, no de la ciencia académica, puesto que, según señala Baracca, si bien Newton formuló la segunda ley de la dinámica y desarrolló el cálculo infinitesimal, no dedujo las leyes de conservación, pese a que, desde un punto de vista

lógico, nada se lo impedía. En esto cabe ver el desdén del medio académico de aquellos días hacia el mundo técnico. Hay cosas que no cambian.

Así pues, la tecnología hidráulica era todavía de amplio uso en el siglo XVIII. En medio de sus investigaciones sobre ruedas hidráulicas, John Smeaton afrontó la necesidad que Newton no captó de forma concreta, esto es, la obtención de un resultado significativo en las mediciones que le permitiese comparar el

rendimiento de la rueda al experimentar variaciones en el flujo de agua o en el peso, para lo cual Smeaton tuvo la buena idea de enrollar una cuerda en torno al eje de la rueda y hacer uso de una polea a fin de levantar un peso mediante la propia acción de la rueda.¹⁶ De aquí el término “trabajo de eje” que solemos encontrar en los textos de termodinámica actuales. En palabras del propio Smeaton: “El levantamiento de un peso, en relación a la altura a la que es levantado en un tiempo dado, es la medida más exacta de la potencia”. En general, la descripción hecha por Smeaton de las ruedas hidráulicas en términos energéticos fue toda una novedad para la época. Incluso logró esbozar la idea de la conservación de la energía mecánica, aunque en forma embrionaria.

Por su parte, el padre de Sadi Carnot, Lazare, con gran lucidez, llevó a cabo la fusión entre el racionalismo francés, incluida su tradición matemática, y los principales resultados de la mecánica práctica.¹⁷ Es decir, tuvo el buen sentido de no fijarse en los estudios sobre engranajes sin fricciones ni colisiones, a fin de centrar su mirada en los mecanismos reales, con las fricciones y colisiones propias de las máquinas. En tales circunstancias, logró una formulación explícita de la conservación de la energía. Así mismo, aclaró de una buena vez que la función real de las máquinas es transformar energía y no producir trabajo. He aquí sus palabras:

La ventaja que radica en la utilización de las máquinas, por lo tanto, no consiste en que produzcan grandes efectos con recursos modestos, sino que nos permiten elegir, entre los recursos que pueden considerarse equivalentes, el más conveniente en relación con las circunstancias.

Las máquinas, por lo tanto, resultan muy útiles, pero no porque incrementen el efecto que las fuerzas son capaces de ejercer por naturaleza, sino porque lo modifican.

Finalmente, en 1826, Prony, con motivo de su estudio del motor de Gros Caillou, definió la potencia como la cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo, especie de epítome glorioso de los antecedentes representados por Jerónimo de Ayaz y John Smeaton. Y, claro está, sin pasar por alto el descubrimiento medieval del caballo de fuerza. Pero, ¿estamos hablando de descubrimiento o de invención al respecto? Veamos.

Lynn White hace uso de la denominación “descubrimiento del caballo de fuerza”. Por supuesto, el caballo es una parte de la biosfera, razón por la cual el hecho de que el ser humano se haya percatado de sus posibilidades para el desplazamiento de cargas es un descubrimiento en toda regla. Con todo, una vez que el hombre optó por mejorar el rendimiento del caballo por medio de artefactos, como el estribo, la herradura y el arnés, no cabe duda que descubrimiento e invención quedaron en fuerte imbricación, esto es, naturfacto y artefacto en buen acoplamiento. Por su parte, cuando, en plena Edad Moderna, ingenieros como Jerónimo de Ayaz y John Smeaton dedicaron sus energías al mejoramiento de maquinaria por la vía de la medición para fines de comparación, fue apenas natural tomar el caballo como referencia para expresar la potencia producida por una máquina, fuese hidráulica o de vapor, en consonancia con la definición establecida por James Watt en el siglo XVIII. Al fin y al cabo, el Medioevo había aportado la idea de rendimiento del caballo como peso desplazado por unidad de tiempo. En estas condiciones, la imbricación entre naturfacto y artefacto cede a favor de la presencia hegemónica de este último, cual herencia de la Revolución Industrial al desvanecerse la visión de la técnica como *mimesis*, esto es, imitación respetuosa de la naturaleza.

A estas alturas, resulta menester aclarar que la evolución conceptual delineada en estas páginas no

fue un suceso continuo y carente de dificultades. En realidad, no faltaron los obstáculos epistemológicos, entre los cuales cabe destacar lo atinente al movimiento perpetuo y la teoría del calórico.

La historia del movimiento perpetuo está bien narrada por Yakov Perelman¹⁸ y, sobre todo, por V. M. Brodianski.¹⁹ En general, la lectura de ambos nos sugiere la imagen de algo que pone en evidencia la refractariedad de la mente humana para asimilar los hechos naturales; situación comprensible, de todos modos, en siglos pasados, por tratarse en muchos casos, en cuanto a sus protagonistas, de personas que no habían tenido el privilegio de una educación académica, como obreros y campesinos. Empero, en la actualidad, como destaca Brodianski, la cuestión es más enojosa, puesto que no pocos de los proponentes de móviles perpetuos son personas con altas titulaciones académicas, lo cual significa que, a despecho de sus estudios, comprenden mal las leyes de la naturaleza: las de la termodinámica en este caso (conservación de energía y generación de entropía). De lo previo, una muestra elocuente es el episodio, todavía reciente, de la máquina energética de Joe Newman, que ha dado bastante de que hablar por haber llegado hasta el propio Congreso estadounidense, cuyo matiz hilarante radica en el hecho de que el debate allí suscitado parecía sugerir que más de un congresista hubiera querido derogar las leyes de la termodinámica a pupitrado limpio.²⁰ En todo caso, la historia del movimiento perpetuo nos habla de un obstáculo epistemológico serio que retardó la comprensión de la conservación de la energía, incluido el concepto de potencia, pese a los logros del Medioevo.

Amplíemos lo atinente al episodio Newman, para lo cual nos cae de perlas la excelente relación hecha por Robert Park, físico estadounidense.

Joe Newman es un mecánico autodidacta de Lucedale, Mississippi. Dos “expertos” han respaldado su máquina energética: Roger Hastings, doctor en física, y Milton Everett, ingeniero del Departamento de Transportes de Mississippi. Por ejemplo, éste declaró en TV lo siguiente: “Joe es un pensador original. Ha ido más allá de lo que se puede leer en los libros de texto”. En general, los medios de comunicación de masas de Norteamérica han hecho mucho ruido al respecto, situación que pone en entredicho su competencia en asuntos científicos. En concreto, el noticiario de la CBS convirtió a Newman en una

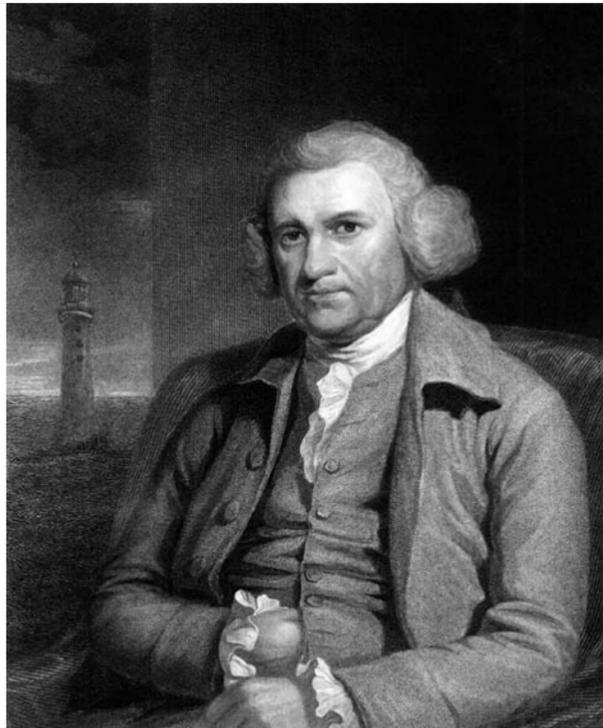


Imagen 3. La leva y la biela en funcionamiento¹⁰

celebridad y Johnny Carson lo acogió en su *show*. De hecho, *You Tube* brinda no pocos videos sobre este asunto. Por su parte, el grueso de los científicos se limitó a ignorarlo.

En lo esencial, ¿qué alegaba Joe Newman? En pocas palabras, que su máquina energética no era un móvil perpetuo y que la energía que la movía provenía de la conversión de masa en energía, según la célebre ecuación de Einstein: $E=mc^2$. Poco a poco, de acuerdo con Newman, la máquina iba devorando su propio cableado de cobre y sus propios imanes de hierro. Así, la máquina de marras duraría casi eternamente. En suma, era un postulado extraordinario, puesto que implicaba convertir átomos enteros en energía eléctrica. Y sin producir radiación alguna. En su momento, el senador por Ohio John Glenn, antiguo astronauta con conocimientos técnicos, puso en su buen aprieto a Newman al instarlo a que un laboratorio midiese la energía entrante y saliente de su máquina. Esto dejó a Newman sin habla. De hecho, Newman siempre fue renuente a la realización de mediciones en laboratorios. En fin, la afortunada intervención de Glenn puso fin a cualquier acción del Congreso en un asunto tan indecoroso. Como quiera que sea, llama la atención el hecho que Newman ha seguido pagando su cuenta de servicios a la compañía de electricidad, esto es, si su máquina funcionase de verdad, bien podría prescindir de tal compañía.

John Smeaton



Algo parecido existe en la historia de la alquimia con motivo de la pretensión de fabricar oro a partir de metales vulgares, como el plomo, pues el movimiento perpetuo no es otra cosa que el deseo de conseguir energía prácticamente gratuita en cantidades ilimitadas. En concreto, la promesa de los alquimistas, como el movimiento perpetuo, no estuvo exenta de fraudes en toda regla y extravíos intelectuales. Botón de muestra, en la historia de la literatura, hay un cuento llamativo que recoge la tragedia por la que tuvieron que pasar muchos de los que incurrieron en la ilusión de conseguir oro barato: *La historia de Valdemar Daae y de sus hijas, contada por el viento*, de Hans Christian Andersen.²¹ He aquí un fragmento dramático en lo que aquí concierne:

Y los ricos corceles, ¿qué se han hecho? ¿Y qué las copas de oro y las vajillas de plata sobredorada, y los ganados, y las granjas y las alquerías? Todo se ha derretido, todo se ha ido vendiendo para alimentar el insaciable crisol, empeñado en no restituir una sola partícula del oro que devora.

[...] Y en el crisol nada, siempre nada: ya nada quedaba para vender, las deudas se acumulaban.

Por el estilo, las obras dedicadas a la historia de la estupidez humana, como las de Tabori²² y Voltes,²³ narran con detalle episodios como éstos, los cuales evidencian más aún la dimensión de *demens* sobre la de *sapiens* de nuestra especie. Del mismo modo, obras sobre divulgación de la historia de la ciencia y la tecnología, como la de Mitchell Wilson y colegas.²⁴

Por tanto, la superación de los obstáculos epistemológicos inherentes al movimiento perpetuo y al calórico fue una condición indispensable para apuntalar el concepto de caballo de fuerza y el principio de la conservación de la energía. En la generación previa a la de los físicos, médicos e ingenieros que cimentaron el principio de marras entre 1830 y 1850, señalemos a Benjamin Thompson, conde de Rumford. A él debemos nuestra comprensión actual de la naturaleza del calor como una forma de movimiento a nivel microscópico. En otras palabras, Rumford le asestó la estocada mortal al paradigma del calórico, cuyos corifeos y prosélitos pretendían que los fenómenos térmicos se debían a la transferencia de un fluido ingravido, el calórico, del cuerpo caliente al cuerpo frío. No obstante, el conde estableció, gracias a unos

experimentos estupendos realizados con la ayuda del taladrado de cañones, que dicha transferencia está causada por la transmisión de cantidad de movimiento de las partículas del cuerpo caliente, que se mueven con frenesí, a las del cuerpo frío, más lentas en comparación. Es decir, las partículas del cuerpo caliente reducen su frenesí a la vez que las del cuerpo frío se mueven más rápido. Por supuesto, mientras los caloricistas reinaron, obstaculizaron la comprensión de la naturaleza de la energía. Incluso, en el lenguaje actual, quedan rescoldos del calórico: términos como calor latente y capacidad calorífica, lo que quiere decir que el lenguaje científico no siempre es todo lo preciso que se quisiera.

En fin, el concepto de caballo de fuerza, surgido en plena revolución agrícola medieval, trascendió la dimensión animal para pasar al terreno de las máquinas, al punto que éstas hacían lo que una miriada de caballos, como bien lo plasmó José Ortega y Gasset en su primoroso texto *Meditación de la técnica*. Para muestra un botón:²⁵

El motor humano, en una jornada de ocho horas, es capaz de rendir trabajo, aproximadamente, en la proporción de un décimo de caballo. Hoy día poseemos máquinas que trabajan con 300.000 caballos de potencia, capaces de funcionar durante veinticuatro horas del día por mucho tiempo.

En la historia de la tecnología, lo más elocuente al respecto lo tenemos en las locomotoras de vapor dada su aura de nostalgia y romanticismo, rasgo del que carecen las locomotoras más modernas, de tracción eléctrica y demás,²⁶ por lo que no es para nada raro que aquellas hayan recibido también el nombre de caballos de hierro, denominación que remite al Medioevo de acuerdo con lo visto. Han sido todo un símbolo de la extensión del concepto de caballo de fuerza, hecho manifiesto en la amplia investigación desplegada al respecto, como bien lo testimonian las *Transactions* de la Sociedad Newcomen sin ir más lejos; un tipo de investigación que casi no se ve en el mundo hispano, tan refractario frente a la historia de la ciencia y la tecnología.

Concluamos diciendo que, en cierto modo, el concepto de caballo de fuerza, nacido en el seno de la revolución agrícola antedicha y extrapolado más tarde al ámbito mecánico de la Revolución Industrial inglesa, terminó por volver al contexto de los seres vi-

vos, puesto que la biología, nacida y estructurada a lo largo del siglo XIX según la óptica de forma, función y transformación, incluyó entre sus problemas dignos de investigación lo atinente a si se cumplían o no para los seres vivos los principios termodinámicos recién establecidos en los campos de la física y la ingeniería; reto que requirió un esfuerzo hercúleo que tomó la segunda mitad del siglo XIX para su elucidación. Entre otras cosas, esto llevó a un desarrollo conspicuo de la calorimetría, como cabe apreciar en un libro fascinante de William Coleman.²⁷ De este modo, con la confirmación de la validez de los principios de la termodinámica en los seres vivos, el edificio conceptual de esta disciplina adquirió mayor solidez y, en particular, el concepto de caballo de fuerza alcanzó un sentido mucho más que analógico o metafórico. Y, mucho me temo, ésta es una claridad que no suele destacarse en la enseñanza y el aprendizaje de la termodinámica en todo el orbe, tan alejada del mundo de la vida y de la índole histórica del ser humano. De este modo, la historia de la ciencia y la tecnología sigue siendo una historia secreta, sobre todo en el mundo hispano. ■

Carlos Eduardo Sierra C. (Colombia)

Magíster en Educación de la Pontificia Universidad Javeriana e ingeniero químico de la Universidad Nacional de Colombia, de la que es Profesor Asociado. Autor de publicaciones sobre educación, bioética e historia de la ciencia. Miembro de algunas sociedades norteamericanas y europeas en el campo de la historia de la ciencia y la tecnología.

Bibliografía

- 1 White L. *Tecnología medieval y cambio social*. Barcelona: Paidós, 1990.
- 2 Augé C. (Dir.). *Pequeño Larousse Ilustrado: Nuevo diccionario enciclopédico*. París: Librería Larousse, 1996.
- 3 Borrero C. A. La Universidad: Estudios sobre sus orígenes, dinámicas y tendencias. En: *Historia universitaria: la Universidad en Europa desde sus orígenes hasta la Revolución francesa*, Tomo I. Bogotá: Compañía de Jesús y Pontificia Universidad Javeriana, 2008.
- 4 Evans F. T. Monastic multinationals: The Cistercians and other monks as engineers. En: *Transactions of the Newcomen Society*, 68, 1997, pp. 1-28.
- 5 Reynolds T. S. The Phoenix and its demons: Waterpower in the past millennium. En: *Transactions of the Newcomen Society*, 76(2), 2006, pp. 153-174.
- 6 Strohmaier G. Al-Biruni, el sabio que Occidente ignoró. En: *Investigación y Ciencia*, 301, 2001, pp. 76-83.

7 Hill D. R. Ingeniería mecánica del Islam medieval. En: García T., N. (Comp.). *Historia de la técnica*. Barcelona: Prensa Científica, pp. 22-28, 1994.

8 Vernet J. Ingeniería mecánica del Islam Occidental. *Investigación y Ciencia*, 201, 1993, pp. 46-50.

9 Reynolds T. S. Raíces medievales de la Revolución Industrial. En: García T., N. (Comp.). *Historia de la técnica* (pp. 29-38). Barcelona: Prensa Científica, 1994.

10 *Ibid.*

11 *Ibid.*

12 Wrigley E. A. *Cambio, continuidad y azar: Carácter de la Revolución Industrial inglesa*. Barcelona: Crítica, 1996.

13 A propósito de Jerónimo de Ayanz y Beaumont, véase: (a) García I., N. Inventores españoles en el Siglo de Oro. En: García T., N. (Comp.). *Historia de la técnica*. Barcelona: Prensa Científica, pp. 90-97, 1994; (b) García T., N. Ingeniería e invención en el Siglo de Oro: El caso de Jerónimo de Ayanz. En: Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia, 2004. *Los orígenes de la ciencia moderna: Actas años XI y XII* (pp. 69-101). Canarias: Consejería de Educación, Cultura y Deportes del Gobierno de Canarias.

14 Kuhn T. S. La conservación de la energía como ejemplo de descubrimiento simultáneo. En: Kuhn, T. *La tensión esencial: Estudios selectos sobre la tradición y el cambio en el ámbito de la ciencia*. México: Fondo de Cultura Económica, pp. 91-128, 1996.

15 Baracca A. El nacimiento y desarrollo de los conceptos de trabajo y energía en el contexto de la mecánica práctica durante la Primera Revolución Industrial. En: Elena, A., Ordoñez, J. y Colubi, M. (Comps.). *Después de Newton: Ciencia y Sociedad durante la Primera Revolución Industrial*. Bogotá: Anthropos / Uniandes, pp. 119-146, 1998.

16 Smeaton J. An experimental enquiry concerning the natural powers of water and wind to turn mills, and other machines, depending on a circular motion. *Philosophical Transactions*, 51, 100-174.

17 Baracca Op. cit.

18 Perelman Y. *Física recreativa: Libros 1 y 2*. Moscú: Mir, 1990.

19 Brodianski V. M. *Móvil perpetuo: Antes y ahora*. Moscú: Mir, 1989.

20 Park R. L. *Ciencia o vudú: De la ingenuidad al fraude científico*. Barcelona: Grijalbo Mondadori, 2001.

21 Andersen H. C. *Cuentos*. México: Porrúa, 1992.

22 Tabori P. *Historia de la estupidez humana*. Buenos Aires: Siglo Veinte, 1995.

23 Voltes P. *Historia de la estupidez humana*. Madrid: Espasa Calpe, 1999.

24 Wilson M. et al. *Energía*. México: Ediciones Culturales Internacionales, 1990.

25 Ortega y Gasset J. *Meditación de la técnica*. Madrid: Revista de Occidente, 1957.

26 Brown H. *Locomotoras de vapor*. Barcelona: Ultramar, 1999.

27 Coleman W. *La biología en el siglo XIX: Problemas de forma, función y transformación*. México: Fondo de Cultura Económica, 2002.