

Cuando el uso precede al conocimiento¹

Javier Aracil²

Nuestra vida, a estas alturas de la civilización, se desenvuelve en un mundo artificial (inmerso en el natural), formado por los ingenios producidos por la técnica, mundo en el que se alcanza mayor longevidad y menores infortunios, y la vida es más cómoda y placentera. La técnica es la empresa mediante la cual el ser humano crea lo artificial, lo que no se origina espontáneamente en la naturaleza, sino que se elabora por nuestra acción deliberada. El mundo artificial es producto de la inventiva y la actuación de los humanos cuando ejercemos como técnicos.

El uso y el conocimiento

Sin técnica no habría humanos. Para ellos es inherente hacer artefactos, mediante la conjunción de la mano y la mente, impulsados por la búsqueda de soluciones a problemas concretos de orden práctico. Gracias a la técnica el hombre humaniza su entorno. La técnica creativa es un fenómeno privativamente humano (las pretendidas actividades técnicas de algunas especies animales no pueden compararse en innovación, riqueza y variedad con las humanas) y, por tanto, la progresiva difusión de los productos técnicos es equivalente a la humanización del mundo.

A lo largo de la historia, en los medios intelectuales, se ha sobrevalorado al ser humano como individuo sapiente, pero para la creación de artificios se requiere ante todo inspiración, iniciativa y acción. Nuestra relación con el mundo es, en primera instancia, técnica, pragmática, productiva y solo después intelectual, científica. Las preguntas a las que hemos de responder en tanto que técnicos son: ¿qué puedo y qué debo hacer? Tenemos que incorporar, al quehacer de los técnicos, la imperiosa exigencia de que éstos adquieran clara conciencia de las consecuencias de todo orden de sus actuaciones.

¹ Publicado en *Revista de Occidente*, Núm. 499, Monográfico sobre «Pensar la ciencia», diciembre 2022, pp. 53-72.

² Pertenece a la Real Academia de Ingeniería del Instituto de España. Asimismo, es Profesor Emérito de la Universidad de Sevilla. Durante su vida activa fue miembro del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la mencionada Universidad. Email: jaracil@us.es

La ingeniería aparece cuando se requiere proyectar, dirigir y coordinar los trabajos necesarios para ³construir obras de gran envergadura (monumentos, sistemas hidráulicos, embarcaciones, calzadas, puentes, ...) en el mundo antiguo. Para estas construcciones además se emplean máquinas auxiliares. A partir del Renacimiento, las máquinas tienen una presencia creciente y adquieren funciones cada vez más elaboradas. Pensadores como Giordano Bruno (1548-1600), Francis Bacon (1561-1626), Galileo Galilei (1564-1642), René Descartes (1596-1650), y tantos otros, se inspiraron en las artes mecánicas para su concepción de la naturaleza, la filosofía y la ciencia. El napolitano Giambattista Vico (1668-1744) afirmó que sólo se puede conocer bien aquello que se es capaz de construir. De acuerdo con Vico, una computadora es una máquina que podemos comprender al detalle, pero, en cambio, el cerebro no. ¿Lo haremos alguna vez? La propuesta de Vico daría lugar a la íntima conjunción del construir (que pertenece al ámbito de la técnica y de la ingeniería) y el comprender (propio de la filosofía y de la ciencia). Conviene no olvidar que la ingeniería es la forma superior de la técnica (la ingeniería es la técnica por antonomasia, (Ortega, 1939, p. 22)), por lo que aquí se hablará indistintamente de técnica y de ingeniería, reservando este último término para las formas más florecientes de la primera. Por otra parte, para el mecanicismo, en los siglos XVI al XVIII, la física no requeriría más que dos conceptos básicos: la masa y la energía (remedo de la materia y el movimiento de los artificios mecánicos) que serían el fundamento último de los fenómenos del mundo físico. Estos conceptos bastaban para las máquinas mecánicas imperantes en aquella época. Pero sucedió que, en ciertos ámbitos de la práctica, para la resolución de algunos problemas utilitarios, se requirió introducir nuevos conceptos básicos que obligaron incluso a revisar la imagen científica en vigor en esos momentos. Se trata de conceptos que acabaron trascendiendo al problema que los promovió. Eso es lo que sucedió a principios del XIX cuando se abordaron los problemas de irreversibilidad en la transmisión del calor mediante el concepto de entropía. También es lo que ocurrió, poco más tarde, con la transmisión de información, aunque fuese con aparatos relativamente simples. Los conceptos de entropía y de información se emplearán en lo que sigue para ilustrar cómo la resolución ingeniosa de problemas prácticos propios de la ingeniería contribuye a renovar el pretendidamente sólido e inmutable edificio de la ciencia.

En este artículo se exponen casos concretos de la historia de la ingeniería en los que es patente que el uso práctico antecede al conocimiento científico. De hecho, eso es lo que sucedió desde los primeros artefactos que hicieron nuestros remotos antecesores, cuando la ciencia aún no existía, o lo hacía de forma incipiente sin inspirar posibles aplicaciones prácticas. Los primitivos conocimientos astronómicos y geométricos sólo se utilizaron remotamente en los arcaicos artefactos.

La máquina de vapor y la termodinámica

A finales del siglo XVIII aparece la máquina de vapor que produce un giro radical en el mundo de las máquinas. Al mismo tiempo está en el origen de una gran revolución en la física, provocada por el nacimiento de la termodinámica. De todo ello se va a tratar en este apartado. La máquina de vapor convierte la energía calorífica del vapor en energía mecánica. Es un ingenio concebido para dotar a las máquinas de energía motriz autónoma. Si hubiera que señalar un artificio decisivo para la Revolución industrial, sin duda la elección recaería sobre la máquina de vapor de doble efecto, inventada por James Watt (1736-1819) a finales del siglo XVIII. En el siglo XVII aparece una primitiva máquina de vapor, empleada para extraer agua de las minas, patentada por Thomas Savery (c. 1650-1715) en 1697 —un siglo antes ya se había utilizado una máquina similar, proyectada por Jerónimo de Ayanz (1553-1613), para extraer el agua en las minas de Guadalcanal, cerca de Sevilla, pero que no tuvo repercusión posterior—. La primera que tuvo una amplia explotación fue la de Thomas Newcomen (1663-1729), en 1712, que aunque era poco eficiente, lo era mucho más que la de Savery. Las máquinas de vapor fueron producto del talento y la imaginación, de la creatividad, la experiencia y la intuición, del sentido común y la capacidad de innovación de sagaces ingenieros que las concibieron motivados primariamente por la búsqueda de soluciones a problemas prácticos concretos, como era la extracción de agua de las minas, aunque los usos de la de Watt pronto se desbordaron.

La máquina de vapor, además de la influencia que tuvo para la Revolución industrial, planteó a la física cuestiones que acabaron siendo fundamentales para la ciencia. En las primeras máquinas de vapor el aprovechamiento del calor era muy reducido. Se producían grandes pérdidas por la falta de ajuste entre el émbolo y el cilindro, entre otras razones. En este contexto se planteó la cuestión básica de determinar si existe un límite a la conversión de calor en trabajo útil. También se suscitó la sospecha de si hay procesos fundamentales involucrados en el funcionamiento de esa máquina, y que impliquen principios físicos universales. El ingeniero militar francés Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832), reunió sus reflexiones sobre estas cuestiones en una memoria de 1824 (Carnot, 1824), en la que sentó las bases de lo que luego sería la termodinámica, la rama de la física que se ocupa del calor, la energía y el trabajo. Cuando publicó su trabajo, el propio Carnot aceptaba que el calor era una especie de fluido, al que se denominaba calórico. Este detalle pone de manifiesto lo alejada que estaba la ciencia de la génesis de la máquina de vapor. Las máquinas que originaron la Revolución industrial, como las textiles o la misma máquina de vapor, no fueron resultado de la aplicación de los conocimientos aportados por la ciencia entonces vigente.

El razonamiento de Carnot partió de una observación muy simple: el calor fluye de lo caliente a lo frío, y nunca en sentido contrario. La sutil advertencia de Carnot escondía una bomba de profundidad para la física de su tiempo. Los físicos estaban entonces fascinados por la teoría gravitatoria de Newton que postula un tiempo irreversible, en el que todo está predeterminado y no hay lugar para la creación de invenciones. Pero la observación de Carnot ponía de manifiesto una irreversibilidad que resultó estar presente en multitud de fenómenos. En efecto, lo mismo sucede con el terrón de azúcar que se disuelve en el café; o con una gota de tinta que se diluye en un vaso de agua. Todos estos casos, y tantos otros que se pueden concebir, llevan asociado un sentido del tiempo que es irreversible. Asimismo, la reflexión de Carnot permitió advertir que hay una especie de degradación de la energía (calor), de modo que el calor de un cuerpo más caliente tiene mayor «calidad» (puede producir más trabajo) que el de un cuerpo más frío. La conversión de energía de alta calidad en otra de baja calidad es una manifestación de la degradación que se produce constantemente en el universo. Esta degradación condujo a establecer un concepto que sería crucial para la ciencia física posterior: la entropía, propuesta por el físico alemán Rudolf Clausius (1822-1888), decenios después de las reflexiones de Carnot. Todo ello fue un gran progreso para la comprensión del mundo físico que permitió entender no sólo el funcionamiento de la máquina de vapor, sino la misma evolución térmica del universo. De este modo, el estudio y perfeccionamiento de la máquina de vapor puso los fenómenos térmicos en el foco de la física, provocando una profunda revolución en la ciencia.

Una vez recordada, a grandes rasgos, la génesis del concepto de entropía, vamos dirigir la mirada a otro concepto que surgió poco después: el de información, que resultó estar relacionado con la entropía y que también tuvo una enorme influencia. Este nuevo concepto comparte, además, con el de entropía el tener sus raíces en dispositivos que habían sido previamente construidos por ingenieros para resolver problemas concretos de tipo práctico.

Los telégrafos y la transmisión de la información

En el siglo XIX, cuando la máquina de vapor estaba transformando el mundo con la proliferación de factorías, trenes y barcos a vapor, se produjo otra innovación técnica cuya repercusión estaba llamada a ser comparable a la de la máquina de vapor y a convertirse en un emblema de los tiempos posteriores. Se trata del telégrafo. A lo largo de los tiempos, la transmisión de información a distancia se había hecho de maneras ingeniosas, aunque bastante toscas (señales de humo, tambores, percusiones en troncos huecos, reflejos en espejos, banderines entre barcos, ...), hasta que a finales del siglo XVIII hicieron su aparición los telégrafos. Los primeros fueron los ópticos de Claude Chappe, (1763-1805), al que se nombró *ingénieur télégraphe* —a estos telégrafos hizo

contribuciones el ingeniero español Agustín de Betancourt (1758 -1824), aunque sin grandes repercusiones, y posteriormente, ya en el siglo XIX José María Mathé Aragua (1800-1885), quien proyectó el primer telégrafo óptico español y la red telegráfica española—. Pero, la vida de estos telégrafos no fue larga. Posteriormente fueron desplazados por los telégrafos eléctricos, asociados a Samuel Morse (1791-1872), quien en 1844 hizo la primera demostración pública de su telégrafo. Se trataba de un dispositivo de gran simplicidad, pero de enorme eficacia, que contribuyó de forma decisiva a la transmisión de información a distancia, y propició el establecimiento de una red de comunicación cada vez más amplia, que en la actualidad cubre todo el planeta (con la participación posterior de innovaciones técnicas, como la fibra óptica). Como consecuencia, la información hizo su aparición en el mundo de la técnica, con lo que se abrió un insólito universo de posibilidades a la ingeniería, que fraguó en la pujante rama de la de telecomunicación. Conviene destacar que lo relevante en un telégrafo son los códigos con los que se escriben los mensajes, y no el soporte físico de la transmisión. De este modo, se produjo otro cambio radical en la historia de las máquinas. Del empleo de la energía en las máquinas que había protagonizado la Revolución industrial, se pasó a componentes digitales que multiplican la eficiencia en el procesamiento de la información, lo que está permitiendo incluso emular labores mentales en dispositivos artificiales.

El concepto de información se perfiló en la segunda mitad de los cuarenta del siglo pasado en los Laboratorios Bell, de la empresa ATT, y tuvo en ello una intervención decisiva Claude Shannon (1916-2001), un ingeniero eléctrico y matemático quien, por otra parte, ha tenido una influencia capital en las tecnologías digitales al hacer explícito el paralelismo entre el álgebra binaria de Boole y la conmutación en circuitos eléctricos (Shannon, 1940). Ese paralelismo ha sido decisivo para el desarrollo de las tecnologías digitales.

Las aportaciones de Shannon pretendían ocuparse del problema de la transmisión (o comunicación) de información. Así, propuso una serie de teoremas, entre los que destaca el llamado teorema fundamental de Shannon, en el que establece la capacidad de un canal para transmitir mensajes previamente codificados, de modo que los errores de transmisión sean arbitrariamente pequeños. Aquí no nos interesa el contenido de esos teoremas, aunque sí dejar constancia de que la motivación del trabajo de Shannon era contribuir a la solución de problemas concretos de ingeniería de telecomunicación. La teoría de la información de Shannon ha adquirido una gran elaboración teórica, hasta el extremo de convertirse en una rama de las matemáticas (en particular, de la teoría de la probabilidad), que resulta valiosa incluso en dominios ajenos al propio concepto de información. La información se ha convertido en un concepto básico o primitivo, que se suma a la materia y la energía para formar tres conceptos básicos de la imagen científica del mundo: materia,

energía e información. Sin embargo, todavía no disponemos de una teoría comprensiva de la información; a lo sumo poseemos una teoría de su transmisión.

Gracias a la revolución de la información, la mayor parte de nosotros trabaja —interviene en el mundo— con la mente tanto o más que con las manos, y para ello nos auxiliamos de dispositivos digitales que facilitan esa labor. Los progresos en las tecnologías digitales afectan a los trabajos intelectuales, lo cual nos sitúa ante una transformación del mundo laboral sin precedentes. En todo caso, consumimos información de maneras muy variadas, tanto en nuestro trabajo profesional como en nuestra vida cotidiana: informes, cálculos, libros, medios audiovisuales... Abundan quienes pasan su jornada de trabajo sentados ante un ordenador, y cuya tarea consiste en adquirir, procesar y transmitir información (también imaginar, crear, ...). Es posible que ninguno de los ingenios que forman el mundo artificial haya producido tantos cambios en la vida de los humanos como los progresos de la técnica que ha propiciado el procesamiento de la información.

Los planeadores y la aerodinámica

Otro capítulo representativo de la reciente historia de la ingeniería es el de la aviación, en la que se tiene otro caso con rasgos semejantes a los que se acaban de referir. Como es sabido, a principios del siglo XX, los hermanos Wilbur y Orville Wright (1867-1912; y 1871-1948) culminaron un largo y minucioso proceso experimental de más de un decenio de ensayos, como paso preliminar a la construcción de una máquina voladora. Los dos hermanos tenían un negocio de bicicletas (Wright Cycle Co) y, por ello, cierta familiaridad con la mecánica técnica, pero no con la ciencia física. Aunque trataron de informarse de cuanto se sabía sobre el vuelo de artefactos más pesados que el aire, no fue mucho lo que consiguieron (Wright, 1953). Lo más provechoso que obtuvieron fue el consejo del ingeniero alemán Otto Lilienthal (1848-1896), fallecido en un accidente con uno de sus propios planeadores, quien había advertido que para poder volar primero había que aprender a planear.

A partir de la recomendación de Lilienthal, y analizando las causas del mortal accidente, los Wright comprendieron que el gran problema con el que se enfrentaban los planeadores era el del control de la estabilidad del vuelo para contrarrestar las turbulencias del viento (una racha de aire había costado la vida a Lilienthal), lo que resolvieron mediante un ingenioso sistema de control lateral basado en la deformación independiente de las dos alas, izquierda y derecha, que se denominó «control por torsión de las alas», y que se reveló como una de las claves del triunfo que acabarían logrando. Con ello hicieron una contribución decisiva a la solución del problema propuesto por el malogrado ingeniero alemán. En la etapa final se ocuparon de la propulsión del ingenio, para lo que fue decisivo el entonces reciente motor de explosión del automóvil. Por otra parte, idearon también

un túnel aerodinámico en el que experimentaron con el perfil y la inclinación de las alas para obtener diseños más eficientes, en una labor genuina de investigación técnica.

El 17 de diciembre de 1903 sus esfuerzos se vieron coronados por el éxito y su prototipo, el *Flyer*, un frágil aeroplano más pesado que el aire, consiguió volar durante unos segundos en un corto vuelo controlado de manera aceptable. En lo sucesivo, los progresos fueron rápidos. El *Flyer* voló y abrió la vía a la aviación, aunque no se hubiese resuelto el problema de comprender cómo se sustentaba en el aire un artefacto de esa naturaleza. De este modo, la aviación despegó antes de que se dispusiera de una teoría de la sustentación aérea. Los aviones volaban, aunque los científicos carecieran del conocimiento que explicara cómo se sustentaban en los cielos «máquinas más pesadas que el aire». Así, los Wright inventaron un ingenio llamado a revolucionar la ingeniería, y que asimismo sería el germen de importantes descubrimientos en mecánica de fluidos, de los que nació la aerodinámica.

Para la resolución de los problemas de sustentación, el ingeniero Ludwig Prandtl (1875-1953) propuso, en 1904, la teoría de la capa límite que permitió resolver con éxito esos problemas (Anderson, 2005). A Prandtl se le considera el padre de la aerodinámica, pese a que sus contribuciones se produjeron después de que el avión de los Wright hubiese volado. Se aprecia un estrecho paralelismo entre el *Flyer* y la aerodinámica, por una parte, y lo que había sucedido más de un siglo antes con la máquina de Watt y la termodinámica, por otra.

La pretendida discontinuidad entre la técnica precientífica y la postcientífica

El caso de los orígenes de la aviación permite también dilucidar la imposibilidad de establecer una neta cortadura entre la técnica ancestral precientífica y la moderna postcientífica, que ya contaría con aportaciones de la ciencia. Esta discontinuidad, de existir, avalaría el papel determinante de la ciencia en la técnica moderna, y reforzaría la opinión de que la técnica presenta diferencias sustanciales a partir de la aparición de la ciencia moderna. La discriminación entre estos dos modos de la técnica resulta esencial para el argumento que defienden los filósofos de la ciencia, quienes defienden con ardor que la ciencia ha singularizado a la técnica moderna —a la que, por otra parte, han impuesto la moda de llamarla tecnología, en español, (Aracil, 2017, pp. 121-126) — que tendría una diferencia sustancial con la técnica precientífica.

La aviación surge con una técnica que se puede tildar de precientífica —lo que resulta evidente observando fotografías del *Flyer*, que más parece un planeador que otra cosa—. En cambio, los aviones modernos ya se proyectan aprovechando conocimientos científicos, en una innegable muestra de técnica postcientífica. Pero la línea continua que puede trazarse uniendo al *Flyer* con un

Airbus reciente, si se mira de cerca, se verá que está formada por una cadena de eslabones cada uno de los cuales es una innovación técnica, de modo que incluso en la transición de los aviones de hélice a los de reacción, son debidos a aportaciones ingenieriles producto de la creatividad de los ingenieros (Vincenti, 1990), aunque se tomen prestados en ocasiones conocimientos científicos. En esa cadena no se aprecia ningún punto de discontinuidad. En consecuencia, la persistente afirmación de que existe un punto de ruptura entre la técnica precientífica y la postcientífica se estrella contra el duro suelo de los hechos. No faltarán quienes afirmen que la aviación es una excepción al supuesto caso general según el cual la técnica moderna tendría su origen en la ciencia. Pero, los ejemplos se multiplican en otros campos. Lo mismo sucede con los ordenadores (Haigh, 2014), la automatización, la robótica, la inteligencia artificial y tantas otras ramas de la ingeniería actual, que se ajustan al esquema: en primer lugar, la práctica imaginativa de los técnicos para resolver determinados problemas prácticos de orden utilitario. Después, las soluciones, una vez llevadas a la práctica, se beneficiarán de conocimientos científicos, originados a partir de los propios artefactos. Bajo una perspectiva histórica, es indudable que los humanos hemos hecho técnica milenios antes que ciencia; es decir, el uso antecede, en general, al conocimiento; la práctica precede a la teoría —para disgusto de Platón y de sus abundantes seguidores en el mundo de la filosofía y de la ciencia—.

La ingeniería tiene un objetivo exclusivo y defensorio: la búsqueda de soluciones efectivas a problemas utilitarios y concretos, que es lo que le imprime su carácter propio y distintivo. Sobre esa búsqueda se consolida la singularidad de la técnica, sea precientífica o postcientífica. Es indudable que la ingeniería, especialmente en nuestros días, se beneficia de la incorporación de los depurados conocimientos que suministra la ciencia, pero la disposición de esos conocimientos científicos no supone un cambio sustancial en los objetivos convencionales de la técnica, ni en los métodos propios de llevarla a cabo.

La cibernética y las máquinas que se gobiernan a sí mismas

Un problema que tenía la máquina de Watt era el de regular su velocidad, pues podía acabar embalándose como un caballo desbocado. Para resolverlo, Watt adoptó un invento que se había ideado tiempo atrás para los molinos de viento: el regulador a bolas o centrífugo. Para llevar a cabo la autorregulación, la máquina transmite información sobre su velocidad desde el regulador de bolas a la apertura de la válvula que suministra vapor al cilindro, mediante un bucle de realimentación.

La «savia vital» en un sistema de control automático es la información. No es posible estudiar las máquinas dotadas de realimentación, esencial en control automático, sin que el concepto de

información esté presente. Los sistemas realimentados reciben impresiones, en forma de información, del mundo exterior, mediante sensores apropiados, y las emplean para decidir las actuaciones posteriores. Recibir información, procesarla, generar y transmitir órdenes es la función del órgano de control de todo sistema realimentado. El concepto de decisión puede ampliarse para incluir lo que hacen las máquinas cuando «deciden» su actuación. De ahí, el papel capital de los sensores que captan del entorno la información relevante sobre los efectos de las perturbaciones. Estos sensores juegan un papel análogo al de los órganos sensoriales en los seres vivos. Así, los sistemas realimentados reaccionan frente a las perturbaciones que les afectan y que se producen en el entorno de las máquinas. Por consiguiente, la estructura de realimentación en los sistemas (naturales o artificiales) les permite resistir las tentativas por degradar su comportamiento mediante los sucesos que se producen en su entorno. De este modo, la realimentación, por su propio proceder, contrarresta localmente el inexorable incremento del desorden asociado al crecimiento de la entropía.

El matemático Norbert Wiener (1894 - 1964), promotor de la cibernética, encontró sistemas realimentados por todas partes y proclamó la ubicuidad de la realimentación tanto en el mundo de los seres vivos, mediante los procesos homeostáticos, como en el mundo de las máquinas, e incluso en los sistemas sociales.

Con la reinención y adopción de la realimentación por parte de los ingenieros, se reafirma, una vez más, lo infundado del arraigado dogma científicista según el cual la ciencia antecedería inexcusablemente a la técnica moderna, y sería el genio científico quien generaría las ideas originales, dejando a otros, normalmente ingenieros, el trabajo de menor categoría de llevarlas a la práctica. En lo referente a la realimentación, como en tantos otros casos, ha sucedido lo contrario de lo que propugna ese dogma: el empleo de la realimentación por parte de los ingenieros para resolver problemas de control automático provocó en Wiener, y en tantos otros, especulaciones intelectuales y científicas de enorme interés, que surgieron de desarrollos ingenieriles previos. Precisamente de estas deliberaciones nació la cibernética.

Los vehículos autónomos sin conductor

Veamos ahora otro ejemplo notable, que ilustra de manera palmaria la conjunción de la energía y de la información en el funcionamiento autónomo de las máquinas. Se trata del vehículo autónomo, sin conductor humano, que, aunque aún se encuentra en fase experimental, pronto ocupará nuestras calles —ya están invadiendo los cielos los drones autónomos—. Con él se tiene una muestra patente de cómo se fusionan en las máquinas, la información y la realimentación, perfeccionando los ingenios técnicos de manera sustancial.

Para llegar al vehículo autónomo se puede partir, en primer lugar, de un carruaje tirado por animales. Éste ha sido el medio de transporte de personas y de mercancías empleado durante milenios. Posteriormente, con la llegada del automóvil y de los vehículos a motor, se sustituyen los animales por un motor de combustión, que resulta mucho más eficiente para la tracción. El automóvil es un mejoramiento substancial con relación al carruaje arrastrado por animales, y se convierte en un prototipo de la revolución energética del siglo XIX.

Pero, para que el automóvil tenga un comportamiento verdaderamente autónomo, no sólo se requiere dotarlo de energía. Se necesita también un conductor que tome decisiones a partir de la información que obtiene del entorno en el que se mueve, y que le suministran sensores adecuados. La voz ‘conductor’ es la traducción de la griega *kybernetes* (piloto), que inspiró a Wiener la denominación ‘cibernética’. El conductor humano se nutre de información, en especial mediante la vista, la procesa en su cerebro (que actúa como órgano de control) y decide la actuación, generando una decisión que se transmite a los mandos del coche (los actuadores o accionadores) mediante otra información.

El conductor actúa como un procesador de información. De modo que para conseguir una completa autonomía que haga honor a la etimología de ‘automóvil’ —de máquina que se mueve por sí misma— hay que dotarlo de un «conductor artificial», que haga las funciones del humano. La conducción comporta una realimentación, que a su vez entraña un proceso de percepción —la percepción es la recepción e interpretación de señales procedentes del entorno, y es un atributo común a todas las formas de comportamiento autónomo, sea natural o artificial—. En este sentido se puede decir que un vehículo autónomo tiene percepción. En todo caso, con esa información se alimenta algún dispositivo digital que la procese y tome las decisiones pertinentes para hacer las funciones del conductor humano. Únicamente en tal caso será con propiedad un *auto-móvil*, y será consecuente con la etimología de su denominación. De este modo se pone de manifiesto cómo el coche sin conductor es un ejemplo paradigmático de la confluencia de la revolución energética del XIX (el motor) y la de la información (el conductor) de nuestros días, en paralelo con la cibernética, y resulta muy ilustrativo de la complejidad progresiva del comportamiento de las máquinas que aporta la ingeniería robótica. En todo ello es claro que el uso antecede al conocimiento, que se obtiene a partir de aquel.

El vehículo autónomo exhibe una forma elemental de «inteligencia artificial» e ilustra de manera patente cómo el mecanicismo estricto se encuentra en un callejón sin salida desde la incorporación de la información electrónica al funcionamiento de las máquinas. Asimismo, no debe olvidarse que la «inteligencia» que confiere autonomía a los vehículos autónomos se circunscribe a su circulación

reglamentada por calles y carreteras. Es decir, está restringida a un ámbito muy concreto y limitado, como sucede con la inteligencia artificial que hoy se desarrolla. Por otra parte, la autonomía de los vehículos es una cuestión de gran calado que incluso conlleva dilemas morales. No para las máquinas, que carecen de sentimientos éticos, sino para los humanos que las utilizan. El comportamiento de una máquina autónoma está sometido a perturbaciones y a la imprevisibilidad, por lo que toda máquina de esa naturaleza debe estar sometida siempre a la supervisión humana superior. El caso más notable se tiene con las armas autónomas. La inteligencia artificial aplicada a los armamentos genera problemas éticos, pues esos ingenios destructivos pueden funcionar de manera autónoma y los humanos llegan a perder el control sobre ellos. Es el caso de los proyectiles programados para alcanzar un objetivo y que, con frecuencia, no pueden ser detenidos por los programadores de los artefactos una vez impulsados. Hay movimientos internacionales, liderados por las propias Naciones Unidas, que preconizan la prohibición de esas armas. Pero, por otra parte, la autonomía es beneficiosa en robots autónomos espaciales, como los que exploran planetas vecinos, o en los drones autónomos (que son vehículos autónomos a los que se aplica todo lo expuesto en este apartado) y otras máquinas similares que rastrean zonas peligrosas.

El vehículo que se conduce a sí mismo, se diría que tiene voluntad propia con sus movimientos coordinados y complejos que, hasta cierto punto, recuerdan superficialmente a los de los seres vivos, y a medida que la técnica progresa lo harán cada vez más —compárese esta máquina con los autómatas del siglo XVII que actuaban como un reloj y reproducían repetitivamente movimientos elementales, no teniendo adaptación al medio en el que se desenvolvían, pues carecían de realimentación—. En todo caso, no es concebible, hoy por hoy, que los robots y demás mecanismos autónomos lleguen a confluir con los organismos vivos, aunque con frecuencia se acabe dando rienda suelta a la ficción científica.

Coda

De lo expuesto en páginas anteriores se desprenden algunas conclusiones sobre cuál es el vínculo primordial que tenemos los humanos con las cosas: su uso o su conocimiento. Como ya se ha visto, en la génesis del mundo artificial ocupan un lugar prominente los artefactos creados por los ingenieros. Esto ha sido así desde los tiempos remotos en los que se carecía propiamente de un conocimiento científico que sirviera de fundamento a los artefactos que se construyeron desde las remotas civilizaciones. La ciencia vino después. Piénsese en la ingeniería romana que se hizo sin ciencia tal como hoy la entendemos, y que aún nos causa admiración. Y así hasta la Revolución industrial con la máquina de vapor, la transmisión y el procesamiento de información, el vuelo de aviones y la realimentación para la autorregulación de las máquinas, entre tantos otros inventos que

definen nuestro tiempo y que, como se ha visto, se crearon sin disponer de un conocimiento científico de cuya aplicación se desprendiese el artefacto buscado. Al contrario, las máquinas sirvieron de estímulo para renovar la imagen científica del mundo. En efecto, la ciencia, para poder explicar los nuevos inventos, ha tenido que ampliar su bagaje de conceptos y leyes básicas. Así sucedió con la entropía y la información, que se concibieron para comprender científicamente ciertas máquinas una vez que ya habían sido fabricadas y estaban en plena actividad. Mal podría la ciencia ser la inspiradora de estas máquinas, cuando ella misma tuvo que dotarse de inéditos conceptos para lograr explicarlas.

La concepción de esos artefactos no es un resultado de la aplicación de las leyes de la naturaleza, sino que es fruto de la visión de quienes los proyectaron imbuidos por el uso que pretendían darles. De hecho, la ciencia, aunque permita explicar la actuación de los artefactos, no propone cómo concebirlos, que es la labor de los técnicos. En ese sentido, la ciencia va a la zaga de los inventos que renuevan el mundo. Además, la técnica actúa de impulsora de la ciencia: el uso fomenta el conocimiento. Así, el conocimiento no es el que inspira el uso, sino que es el uso el que promueve la exploración de un conocimiento apropiado, como sucedió con las máquinas analizadas en este escrito. Esos ingenios fueron el resultado de las soluciones pragmáticas e imaginativas que idearon quienes los fabricaron, aún sin disponer del conocimiento básico del que se derivase, por aplicación directa, la solución pretendida. Si bien, posteriormente a su invención, la ciencia enriquece las posibilidades de los nuevos inventos, cuando los científicos los exploran con sus potentes recursos.

Es posible que en nuestros días, cuando el conocimiento científico alcanza volúmenes ingentes, sea ese conocimiento el que inspire directamente algunas aplicaciones técnicas. Según progresa la ciencia son mayores los saberes a disposición de la técnica. Esos conocimientos pueden contribuir a concebir artificios en los que estén involucrados fenómenos regidos por esos mismos conocimientos. Así sucede, por ejemplo, con la energía nuclear (la fisión, pues a la fusión aún la estamos esperando, pese a los esfuerzos que se le dedican) o las técnicas CRISPR para editar el genoma, entre tantos otros. Pero el mundo artificial tiene sus raíces en la facultad creadora de la técnica. De hecho, la ciencia, como desinteresada buscadora de la verdad, surge, a lo largo de la historia, después de que los humanos nos hayamos ido proveyendo, con ayuda de la técnica, de lo útil para remediar las necesidades que nos acucian —*primum vivere, deinde philosophari*—.

El argumento que aquí se ha defendido sobre la precedencia del uso al conocimiento tiene antecedentes en el pensamiento filosófico. En particular, en la obra del filósofo madrileño José Ortega y Gasset (1883-1955), impulsor de una sugerente renovación de la filosofía de la técnica, se

encuentran reflexiones que no han sido evocadas con la frecuencia que merecen. Sirva de muestra: «La vida no es [...] contemplación, pensamiento, teoría. No; es producción, fabricación, y sólo porque éstas lo exigen [...] después, y no antes, es pensamiento, teoría y ciencia» (Ortega, 1939, p. 62).

Agradecimientos

El autor agradece a Francisco Gordillo sus comentarios a un borrador de este escrito.

Bibliografía

- ARACIL, Javier. *Ingeniería: la forja del mundo artificial*. Madrid: Real Academia de Ingeniería, 2017. <http://www.esi2.us.es/~aracil/Muestra.pdf>
- ANDERSON, John D. «Ludwig Prandtl's boundary layer». *Physics Today*, 43 (2005), pp. 42-48.
- BERGSON, Henri. *L'évolution créatrice*. París: F. Alcan, 1908.
- CARNOT, Nicolas Sadi. *Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego*. Madrid: Alianza Editorial [1987] 1824.
- HAIGH, Thomas. «Historical Reflections. Actually, Turing Did Not Invent the Computer. Separating the origins of computer science and technology», *Communications of the ACM*, 57 (2014), pp. 36-41.
- ORTEGA Y GASSET, José. *Meditación de la técnica*. Madrid: Ediciones de la Revista de Occidente, Colección El Arquero, 1939.
- SHANNON, Claude. *A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits*, Tesis de maestría, MIT, 1940.
- VINCENTI, Walter G. *What Engineers Know and How They Know It*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1990.
- WRIGHT, Orville. *How We Invented the Airplane*. Dover Publications [1989].