

“La tecnología como creación: entre inventos e instrumentos”, en J. L. González Quirós, Ed. *Los rascacielos de marfil. Creación e innovación en la sociedad contemporánea*, Lengua de trapo-Escuela contemporánea de humanidades, Madrid, 2006, ISBN 84-96080-67-6, pp. 259-296.

La tecnología como creación: entre inventos e instrumentos

Nadie cree en una teoría excepto su autor, mientras que todo el mundo cree en un experimento salvo el físico que lo llevó a cabo.

Albert Einstein

Es una inagotable fuente de asombro para mí ver cómo unos cuantos signos en la pizarra o en el papel pueden cambiar el curso de los asuntos humanos.

Stanislaw Ulam

Hablar de la creación en el mundo en el que vivimos, un mundo viejo, cargado de signos y de artificios, nos resulta muy atractivo aunque sólo sea, tal vez, por el hecho de que el afán de novedad es una de las fuerzas que mueven, o al menos eso se repite, este tinglado en el que parecemos estar huyendo siempre de lo que ya es viejo, de lo que está gastado por el uso y el abuso. Buscamos lo nuevo y huimos de lo viejo porque siempre estamos tentados de ser un nuevo Adán. No lo somos, sin embargo, salvo cuando nos arriesgamos a transgredir el orden en el que hemos sido hechos e incluso entonces solemos incurrir en vetustas rebeldías, en repeticiones. Pese a todo, hay algunos ámbitos en los que la novedad está de algún modo a nuestro alcance como algo más que la experiencia de que cada minuto de nuestra vida es único y siempre nuevo. Es difícil e improbable, pero podemos crear, podemos reconocer la creación y gozarnos con ella. Ese es el sempiterno atractivo, a veces muy superficial, de las artes y de la escritura: hacer o decir lo nunca hecho o dicho, mostrar lo invisible, dar una imagen nueva del mundo.

En el terreno de las tecnologías existe esa misma pulsión de la novedad, en parte porque el mercado la demanda, pero también porque los inventores y los ingenieros andan siempre buscando los cinco pies del gato. El mercado es, desde este punto de vista, un gran incitador y proveedor de novedades, de incentivos para la compra, aunque, desde luego, sea algo más que eso. Y la tecnología funciona muchas veces como el más poderoso ariete de ese mercado, un catalizador de la novedad, aunque a veces sea mínima.

En cualquier caso, no es la novedad el único motor de nuestro consumo. También consumimos, a nuestro modo, tradición y misterio. En la actualidad, las historias muy del pasado y los enigmas y enredos más o menos verosímiles sobre asuntos supuestamente cruciales en la historia humana gozan de mayor aprecio popular que las narraciones de ficción científica. Incluso, en muchas de estas últimas, por ejemplo en el cine, las aventuras futuristas se tiñen de colores muy antiguos, de sombras egipcíacas o de ceremonias inspiradas en el ciclo artúrico. Parece como si estuviésemos buscando un nexo entre el pasado y el futuro, un lazo de sentido que no pasa por este presente descreído y anómico. Esa mirada esquiva y extraviada entre el pasado y el futuro es, muy probablemente, un síntoma de agotamiento, de desesperanza.

Parte de nuestra desorientación puede venir de que, casi de manera inconsciente, nos fijamos siempre en el aspecto social de las cosas, de que consideramos el componente social de la vida humana como su lado más significativo, como su verdadera realidad. Pero además de ese aspecto, la vida humana ofrece también otros paisajes a nuestra mirada, otros aspectos que frecuentemente están ocultos bajo la espesura social; podemos detenernos en ese claro del bosque en que es posible conocer y tratar a los individuos que, además de ser lo últimamente real son lo que en verdad resulta interesante. Esa enorme confusión que por doquier produce la consideración social nos impedirá también ver todo lo que significa la tecnología como producto del trato entre el hombre y las cosas, entre el hombre y la realidad.

Examinando el uso social de la tecnología no captaremos con claridad su momento creativo que se encuentra no en el uso sino en la invención, no en la socialización del uso sino en el talento del individuo creador. Sin embargo, hay ocasiones en que el uso puede ser también creativo porque el uso se compone de muchas acciones individuales, y cada una ellas puede dar pie a nuevas invenciones. Nada se dice aquí tampoco contra el hecho evidente de que gran parte de la creación tecnológica, como la creación científica, surja del trabajo conjunto de enormes colectivos de investigadores, porque es obvio que, a la altura a que estamos, poco puede hacer un individuo aislado por sí mismo, pero en esas instituciones en que de verdad se investiga y se crea novedad lo sustantivo no es la máquina social sino el vigor intelectual de quienes la componen.

Para que la tecnología pueda ser explotada de cualquier modo ha debido ser antes imaginada, inventada en algún recóndito lugar en que se juegue a eso. Así, del mismo modo que existe la tecnología como incentivo mercantil existe previamente la tecnología como invención, como proyecto; para que exista la demanda de novedad debe existir previamente la posibilidad de crearla. Antes que objeto de un uso instrumental, que es el marbete principal para describir socialmente la tecnología, ha de existir una auténtica invención, un acto creativo que pone en la realidad lo que, en muchas ocasiones, no era siquiera una posibilidad soñada.

1. Crear y hallar

El doble sentido que, al menos desde el punto de vista etimológico, tiene el verbo *inventar* puede ponernos sobre una pista útil para entender la capacidad de invención en el terreno de la tecnología. Inventar es, en un primer sentido, descubrir algo nuevo, poner en el mundo algo que no había en él; pero inventar es también encontrar, es decir, caer en la cuenta de que hay algo que no habíamos visto, algo con lo que no se contaba. Todo invento es una mezcla de esas dos dimensiones: es un arreglo de la realidad para producir algo nuevo, algo que no había, pero es también haber encontrado en la complejidad de la realidad una esquina inédita en la que apoyarnos. Si esta doble dimensión de la invención es cierta lo es aún más en la tecnología porque en una buena mayoría de casos la tecnología es desarrollo de lo que ya tenemos, es una invención sobre lo ya inventado en la que, por supuesto, aparecen de cuando en cuando cosas realmente inesperadas y nuevas.

Desde el punto de vista ontológico, desde el punto de vista de lo que son las cosas, la invención es hija de la complejidad, de la capacidad que la realidad tiene para satisfacer distintas miradas y demandas. Si en el ámbito de la geometría, por ejemplo, sólo existiera el plano, no podríamos inventar volúmenes; podemos hacerlo, sin embargo, porque hay algo en la realidad que interesa al geómetra que es más que el plano: hay el espacio, en el que podemos introducir una infinitud de planos, en el que podemos jugar con ellos.

Es obvio que no basta con que la realidad sea compleja, sin embargo. La complejidad ha de ser, como mínimo, adivinada, intuida y sospechada, ha de ser algo distinto de nosotros. La realidad aparece a esa mirada como un ámbito de posibilidades, como algo más que lo que simplemente es. Así puede decirse que lo primero que el hombre inventa, algo que de esa manera no parecen hacer otras especies vivas, es precisamente la complejidad, y no una complejidad cualquiera sino una complejidad que se presta a ser entendida. Parafraseando a Einstein, un dios que podrá ser sutil pero que no parece ni caprichoso ni malvado.

Que la realidad sea compleja significa, por lo pronto, que no siempre tiene la misma cara, que depende por dónde se mire. La complejidad de lo real supone una suma virtualmente infinita de posibilidades de mirada. Ahora bien, la categoría de posibilidad está relacionada no sólo con lo que es, sino también con lo que no es. Los hombres hemos aprendido a distinguir lo que es posible de lo que no lo es gracias a que nuestra vida transcurre en el tiempo: la acción es el ámbito en el que, primariamente, se descubre lo posible y lo que ya no puede ser. La posibilidad se aprende, por tanto, mediante la decepción, con el dolor que supone el fracaso de no haber conseguido aquello que pretendíamos. Pensando sobre el porqué de algo que parecía posible y que no se ha conseguido alcanzar se cae en la cuenta de que es la realidad quien nos ha impedido alcanzar nuestro deseo, y que esa realidad es la misma realidad que nos había invitado a la aventura.

La realidad, el tiempo, el espacio, la materia, se hacen enteramente responsables de nuestro fracaso y de nuestros éxitos; pero la realidad no sólo nos frustra planes: primero los sugiere suscitando nuestros deseos. La realidad, que es también humana, nos circunda y nos constituye porque somos parte de ella, no estamos fuera, pero se trata de una realidad que nos deja hacer, en la que nos movemos y a la que entendemos, naturalmente dentro de ciertos límites, límites que, como sospechamos y/o sabemos muy bien, son absolutamente superados por lo que hay.

Es muy lógico que el hombre, para definir el terreno en el que se juega su vida, haya querido poner límites a la realidad, cerrar el universo, saber dónde estaba. El saber ha sido siempre la llave que permite abrir la puerta por la que abocamos a ese límite, ha sido siempre un camino de audacia distinto al de quedarse y administrar lo que hay. Es en ese diálogo con las cosas cuando aprendemos, cuando la realidad se nos impone con una fuerza que no tiene parangón, como también se nos impuso cuando suscitó en nosotros el deseo de novedad, de conseguir, de crear.

2. Los motivos de la invención

La inventiva humana tiene múltiples fuentes de inspiración: por un lado la necesidad de refugio, de seguridad, de poder, la protección frente a las mil amenazas que hacen especialmente frágil nuestra vida sobre la tierra; pero basta con mirar cualquier enciclopedia de los inventos para constatar que la capacidad de imaginar e inventar, el afán por determinar los límites de lo que puede hacerse es un fondo de inspiración aun más fértil que la búsqueda de un equilibrio más o menos precario con el medio hasta que deje de ser hostil y amenazante. Nadie habría salido nunca a la mar con ese solo motivo, hace falta otra clase de impulso menos conformista y temeroso. La invención tecnológica surge también, por tanto, a partir de un impulso antiagónico, del empeño por modificar los límites impuestos por la naturaleza, por extender hasta extremos antes nunca vistos nuestra capacidad de acción y de decisión. La invención surge de que sabemos que podemos saber, de la confianza en que podremos entender lo que veamos, de que podremos hacer nuestro hogar en un sitio distinto al que habitamos porque nada menos que la realidad entera es el hogar del hombre.

Tanto la protección como la conquista exigen un conocimiento anticipatorio, una imagen cabal de lo que puede esperarse que suceda. El entendimiento de la experiencia es quien se ocupa de poner las cosas en su punto cuando se acierta a pensar la realidad como un caso de leyes más generales, como lo que de hecho ocurre, por buenas razones, de entre un mundo de posibilidades que son potencialmente infinitas. Las tecnologías tienen éxito cuando se apoyan en una imagen eficiente de lo que el mundo puede ser, cuando saben aprovechar en nuestro beneficio las leyes que rigen el mundo cuando funciona enteramente sin nuestra intervención.

Por las mismas razones que resulta insuficiente pensar en la tecnología como un medio de adaptación es necesario no hacer una caracterización de la tecnología que la limite al orden instrumental. Porque el hombre no sólo inventa instrumentos, inventa, sobre todo, el mundo en el que pueden ser útiles, inventa la novedad como tal, juega con ella haciendo un mundo en el que tienen cabida nuevas dimensiones de su vida que está empezando a experimentar. Como ha sugerido Gaston Bachelard, la imagen menesterosa del hombre primitivo, que lo considera sometido a desgracias y a necesidades insatisfechas es seguramente la responsable de que consideremos el origen de la invención como algo que ha surgido bajo la presión de la necesidad y no bajo el impulso generoso de la expansión y de la alegría de vivir: para Bachelard (1966, 51), por el contrario, cuando el hombre aprendió a fabricar el fuego aprendió también a cantar.

Hay un placer de descubrir del que luego se obtienen bienes muy valiosos, los que inevitablemente se derivan, en último término, de saber, de conocer. Ese era el punto de vista de Leibniz (1961, 175) que afirmaba que la invención tenía que ver con la felicidad. Este punto de vista equivale, de algún modo, a demoler la diferencia entre lo artificial y lo natural, porque en el hombre lo natural es dedicarse a la invención (al deseo de saber aristotélico) que es una forma de consagrarse al arte, a la técnica y al artificio. Ortega y Gasset (1965, 210) sostuvo un punto de vista muy cercano al leibniano: el saber físico produce la técnica que transforma el mundo para hacerlo humano y procurar la felicidad, luego “la física es el órgano de la felicidad humana y que la instauración de esta ciencia ha sido dentro de lo humano el hecho más importante de la historia universal”. Para Ortega (1962, 282) la técnica es el fin de la ciencia, su maestra, porque “el propósito de las ciencias no es ser, en la plenitud del término, conocimiento, sino construcción previa para hacer posible la técnica”.

Es posible que el lugar que ocupa la idea de felicidad en el análisis de Ortega no sea exactamente el mismo que ocupa en el del más optimista Leibniz. Para este, seguramente, la búsqueda produce felicidad lo que no es lo mismo que decir que hay que buscar porque somos infelices. Necesitamos buscar no tanto porque estemos inquietos o en peligro sino porque nos provoca extrema curiosidad la máquina de la naturaleza y lo que con ella podamos hacer. Parece evidente que en la historia encontramos comunidades humanas para todos los gustos: que se han sentido presionadas y han creado o no y que no se han sentido presionadas y han sido rutinarias o creativas. La creación parece ser, en todo caso, una respuesta que supera el orden del estímulo inmediato.

A efectos prácticos, por ejemplo, nunca se ha necesitado la fabulosa capacidad de cálculo que ahora se posee aunque, una vez que se tiene, se inventan aplicaciones para ella. La capacidad de los ordenadores, la amplitud del espectro radioeléctrico, o la profundidad a que puede navegar un submarino nuclear, por ejemplo, no son metas que se hayan conquistado en virtud de la necesidad pero son posibilidades que se han hecho reales porque estaban previamente ahí, como el Himalaya para los escaladores.

Cabe, pues, ver la raíz más honda de la técnica no en la mayor o menor menesterosidad humana sino en algo que tiene más que ver con la curiosidad, con la capacidad de inventar ocupaciones y vidas más allá de la tradición y de la regla que sea costumbre. La curiosidad presupone que no lo sabemos todo, pero que nos atrevemos a intentarlo porque confiamos en que la realidad no se va a desvanecer frente a nuestras pesquisas. La curiosidad supone que no somos dioses omniscientes, evidentemente, pero también que podemos saber siempre más, una posibilidad que se asienta no tanto en nuestras carencias como en la convicción de que la realidad siempre guarda algo que de momento es misterioso pero que podríamos llegar a explicarnos.

La evolución de las tecnologías contemporáneas es una buena muestra de esa raíz intelectual y no meramente práctica de la tecnología. Del telégrafo al teléfono se pasa no porque el telégrafo sea insuficiente y se precise de un instrumento más capaz (como sin duda lo es el teléfono) sino porque, como hizo ver A. G. Bell, el teléfono era un aparato posible. Del teléfono ordinario pasaremos al videoteléfono por idénticas razones, porque es posible y porque, en principio, su explotación comercial parece atractiva, cosa que se comprobará sólo con la experiencia, porque no siempre las invenciones responden a las intenciones y estimaciones de sus creadores, sino que se separan de ellas en más y en menos, a veces en muchísimo. Normalmente no agotamos la utilidad de una invención antes de dar paso a otra que la sustituya porque nuestro criterio principal no es precisamente el económico, por mucho que la economía condicione ritmos y aplicaciones.

Como ha escrito Freeman J. Dyson (1998, 21), “las tecnologías que tienen éxito suelen comenzar como aficiones, Jacques Cousteau inventó la inmersión con escafandra autónoma porque le gustaba explorar cuevas. Los hermanos Wright inventaron el vuelo como un solaz frente a la monotonía de su negocio normal de vender y reparar bicicletas”. La búsqueda tecnológica tiene algo de juego, el acto creador tiene algo de gratuito, algo que sobrepasa los límites estrechos de un entendimiento utilitarista. Creamos por el gusto de crear, lo que no quiere decir que la necesidad no sea un acicate de primera. Y por creación hay que entender aquí no sólo lo que es absolutamente original sino lo que es realmente nuevo en algún aspecto, lo que normalmente se llama desarrollo de un producto o de sus derivados a partir de un primer diseño de éxito. La industria le va añadiendo talento y el invento se va transformando, haciendo otro, hasta que en ocasiones una finalidad sobrevenida se apodera

de su realidad y hace que caiga en el olvido lo que fue la intención original de los primeros creadores. Nuestra historia reciente esta llena de esta clase de hallazgos, de utilidades imprevistas, de negocios impensados, pero también de fracasos casi inexplicables en empeños asumidos como la gran solución de un problema real y que quedan finalmente en nada cuando no en la ruina de sus promotores.

3. Psicología y lógica del acto de creación

Preguntarse por la estructura del acto creativo es, de algún modo, incurrir en una especie de contradicción, pues si de algún modo se conociera esa estructura sería relativamente fácil aplicar la fórmula y proceder a algo así como la industrialización de la creatividad. Una manera indirecta de abordar el asunto es preguntarse cómo funciona la mente creativa, cómo se distingue, si es que se distingue de algún modo, el trabajo intelectual del creador del funcionamiento ordinario de la inteligencia humana. No es que lo que sepamos sobre esta última sea mucho ni especialmente interesante, de manera que lo que se hace al pretender distinguir la mente creadora de una mente *normal* es trazar una especie de modelo de excelencia del funcionamiento de la mente humana. Esta clase de estudios se ha visto complicada con las teorías y técnicas de diseño de ordenadores en la medida en que ha predominado la creencia, tal vez excesivamente simple, de que en ambos casos se trata de manejo de informaciones y de reglas¹. Hay bastantes testimonios, en especial de matemáticos, sobre la psicología de la invención y de la resolución de problemas, testimonios que, en general transcriben el proceso de formalización de las demostraciones lógicas en términos de un proceso de descubrimiento intuitivo o psicológico.

En general, ha sido muy frecuente atribuir un papel importante al *inconsciente* en el bosquejo que se hace del funcionamiento del proceso de descubrimiento². Se ha escrito mucho sobre un buen número de testimonios (los del gran Poincaré resultan ser los más

¹ Un ejemplo de esto último es el siguiente análisis de Ulam (2002, 46): “Es obvio que analizar los propios pensamientos ayuda a saber cómo se almacenan las cosas en la memoria. Para comprender cómo uno entiende un texto, o un método nuevo, o una demostración matemática, es interesante intentar observar conscientemente el orden temporal y la lógica interna. A juzgar por lo que he leído sobre la naturaleza de la memoria, los profesionales no han hecho lo suficiente en este campo, tampoco los aficionados interesados. Creo que se podría hacer más para elucidar, aunque sólo sea en parte, la naturaleza de las asociaciones, empleando las computadoras como medio para la experimentación. Un estudio así incluiría una gradación de nociones, de símbolos, de clases de símbolos, de clases de clases, y así sucesivamente, de la misma manera como se investiga la complejidad de las estructuras físicas o matemáticas. Tiene que haber un truco que haga funcionar las cadenas de pensamientos, una fórmula recursiva. Un grupo de neuronas empieza a trabajar automáticamente, a veces sin impulso externo. Es una especie de proceso iterativo con un modelo creciente. Se mueve de aquí para allá en el cerebro, y el modo de proceder tiene que depender del recuerdo de modelos parecidos. Se sabe muy poco acerca de esto. Tal vez antes de que pasen cien años todo esto forme parte de una ciencia nueva y fascinante”.

² Sobre la pertinencia de esta atribución influyen dos factores, uno histórico, la popularidad de las doctrinas freudianas en el momento en el que se hicieron muchas de las primeras contribuciones al análisis de la creación científica; otro de tipo lógico: algún papel ha de jugar *lo que no se conoce* en la aparición de lo que empieza a conocerse.

citados) que ponen de manifiesto³ que el descubrimiento produce su conciencia pero no siempre nace de la conciencia expresa sino de un *trabajo* que permanece oculto y del que el protagonista sólo es consciente como preocupación o como “tener algo entre ceja y ceja”, una situación que se ha descrito a veces como un proceso de incubación⁴. Ulam pone en relación el significado del inconsciente con el uso de la memoria y con la importancia que tiene en el trabajo del matemático: no sabemos *cómo* recordamos pero es evidente que la memoria es la parte o la función de la conciencia que más abiertamente desafía la identificación cartesiana entre conciencia y mente.

Cómo se pasa de la ocurrencia a la inducción con base, de la intuición a la prueba, etc. etc. no es fácil decirlo. La idea de método típica de la modernidad es, desde luego, demasiado pretenciosa y, a la vez, perfectamente inútil: hay que recurrir a la *inspiración*, ese azar que, sin embargo, como decía Pasteur, sólo suele beneficiar a los espíritus preparados.

Hay un cierto análisis standard (por ejemplo el de Hadamard) del proceso creativo que puede considerarse compuesto de cuatro fases sucesivas⁵:

1. Elección y planteamiento del problema de manera plenamente consciente, trabajo persistente para abordarlo;
2. Incubación o período de pensamiento inconsciente, cuando el cerebro parece trabajar para nosotros sin molestarnos directamente, actuando a su modo mientras nosotros nos dedicamos a otra cosa;
3. ¡Aha! o momento de inspiración, iluminación, cuando se cae en la cuenta de haber obtenido la idea *decisiva*⁶;
4. Trabajo de pulimento y justificación del resultado obtenido en el momento 3.

La verdad es que en la práctica las cosas suceden de acuerdo con pautas menos definidas y enormemente variopintas, al menos si nos atenemos a los *descubrimientos* que cada uno de

³ Uno de los análisis más recientes y elaborados es el que ofrece Ulam (2002, 185 y ss.) : “De lo único de que se es consciente en el cerebro es de algo que resume o engloba todos los procesos que ocurren, que consiste probablemente en muchas partes actuando simultáneamente las unas sobre las otras. Está claro que sólo la cadena unidimensional de silogismos que constituye el pensamiento puede comunicarse verbalmente o por escrito. Poincaré (y más tarde Polya) trataron de analizar el proceso de pensar. Cuando recuerdo una demostración matemática me parece que sólo me acuerdo de los puntos más singulares, digamos mojones, de placer o dificultad. Lo fácil no suele llamar la atención porque se puede reconstruir lógicamente sin obstáculos. Por otra parte, si quiero hacer algo nuevo u original, entonces ya no es una cuestión de cadenas de silogismos. Cuando era niño pensaba que el papel de la rima en la poesía era empujarle a uno a encontrar lo que no era evidente, por la necesidad de encontrar una palabra que rimase. Esto fuerza a asociaciones nuevas, y casi garantiza el apartarse de las líneas rutinarias de pensamientos. Se convierte, paradójicamente, en un mecanismo de originalidad automático. Estoy bastante seguro de que este *hábito* de originalidad existe en la investigación matemática, y puedo señalar a los que lo tienen. Este proceso creativo, por supuesto, ni se entiende ni está bien descrito en el presente. Lo que la gente piensa que es inspiración o iluminación es en realidad el resultado en el cerebro de mucho trabajo subconsciente y de asociación del que no somos conscientes”.

⁴ Puede verse el análisis del proceso creador que hacen Changueux y Connes (1993, 77 y ss.).

⁵ Curiosamente las fases del “método de resolver problemas” de Polya (1990, 7 y ss.) también son cuatro aunque no son homologables con las de Hadamard. Polya distingue entre (1) entender el problema, (2) trazar un plan que incluya la consideración de cómo afrontar todas las dificultades previstas, (3) ejecutar el plan para ir viendo que pasa y (4) volver hacia atrás de la “solución” encontrada al problema inicial.

⁶ Una buena colección de casos al respecto puede verse en Brezinski (1993) de las páginas 103 a 161.

nosotros hacemos (de cosas, por lo general, bien sabidas por multitudes). El hecho es que el creador, y en general quien acierta con la resolución de cualquier problema, es quien ve algo que los demás no ven, o quien descubre algo que otros han visto y nadie ha sabido apreciar. No hay duda de que el hábito de trato con determinadas cuestiones facilita ver relaciones que pasan inadvertidas al común: es una experiencia hartamente corriente, por ejemplo, ver una radiografía y saber que no la entendemos en absoluto. Ese hábito puede ser aprendido (confiamos en que eso hacen en las facultades de medicina, por ejemplo) pero puede ser también un rasgo de originalidad como el que apreciamos en Picasso que nos hace ver las Meninas con una estructura que nosotros nunca habíamos visto al reconocerlas, o en un buen caricaturista que hace un retrato aparentemente no homólogo con su modelo y descubre algo que todos vemos y nadie ve. Se ha repetido muchas veces una expresión de Albert Szent-Györgi según la cual “descubrir consiste en ver lo que todo el mundo ha visto y pensar lo que nadie ha pensado”.

El predominio de las imágenes visuales a la hora de describir la invención contrasta curiosamente con la sensación que tenemos de que, de ordinario, pensamos verbalmente y no con imágenes. Esta dicotomía verbal / intuitivo ocupa buena parte de las explicaciones del acto de invención. Hadamard que hizo una encuesta entre científicos famosos encontró respuestas para todos los gustos. Los matemáticos, en general, son propensos a distinguir entre pensamiento y palabra, mientras que los filósofos, también en general, tienden a reconocer encantados la identidad entre ambos.

4. Proyecto, necesidad, casualidad

La creación, en especial la creación tecnológica, ha devenido en oficio, en algo que se practica y se aprende, en algo que se busca deliberadamente por una doble serie de razones: en primer lugar, desde un punto de vista sociológico, partimos de que la mera continuidad cansa y no nos basta; pero, en segundo lugar, porque creemos firmemente que las cosas pueden ser mejoradas, que el mundo real no se cansa de soportar invenciones, que es un ámbito en el que cabe descubrir, innovar, modificar, sustituir, complementar, un mundo en el que las cosas pueden ser distintas a lo que son porque la realidad es sólo una de las posibilidades y es posible llamar a primer plano alguna de las infinitas otras que son posibles.

En el mundo contemporáneo todo está sometido a revisión y un gran número de cosas y negocios depende de la previsión, de que se da por descontado que se descubrirán las cosas necesarias para que el carro siga girando. Piénsese en la llamada crisis energética: de una forma más o menos inconsciente se da por sentado que antes de que se acaben las reservas fósiles habremos encontrado la forma de domeñar las energías más inextinguibles pero menos tratables, como la solar o la nuclear. Grandes planes se enderezan a ese propósito y no cabe duda de que su prosecución permite infinidad de avances colaterales como ocurre siempre que se persigue un objetivo ambicioso. El caso clásico es el de la exploración espacial, el viaje a la Luna, y la cantidad de aplicaciones que ahora estamos gozando fruto de ese esfuerzo un poco quimérico para el momento en que se llevó a cabo.

Los proyectos son pues el lugar por antonomasia de la novedad tecnológica. En ellos se adelanta lo que se quiere lograr, se persigue una meta precisa con ahínco y con el método adecuado. Grandes sumas de dinero se dedican a conseguir invenciones más o menos fantásticas lo que trae consigo unas consecuencias en el plano económico que a veces retardan la investigación de metas sucesivas porque es necesario rentabilizar, si es que se puede, el dinero invertido en un determinado hallazgo. Esto da lugar a un fenómeno bastante peculiar como lo es el que existan tecnologías a la espera de desarrollo mientras se cierra el ciclo de explotación de tecnologías anteriores. Esta es también una de las razones de que en los países punteros la tecnología militar vaya a la cabeza: su ciclo de explotación no está sometido al mismo ritual de explotación que las tecnologías de uso civil y comercial, de manera que la investigación puede y debe seguir avanzando aunque los efectos del escalón anterior no se hayan amortizado porque en el terreno militar cualquier ventaja es siempre poca.

Se supone que los proyectos están movidos por la necesidad o, al menos, por la conveniencia, por la utilidad. Sin duda es así en buena medida, pero ni la necesidad ni la utilidad bastan a explicar el éxito, en las contadas ocasiones en que se alcanza. Para entender las razones de ello hay que considerar una serie de circunstancias: en primer lugar, el hecho de que la investigación básica es enteramente libre respecto a sus utilidades porque está movida, sobre todo, por las demandas intelectuales de sus cultivadores: al fin y a la postre sólo los que saben pueden decir qué más podría saberse, por dónde habría que ir. Sólo quienes están a la cabeza de la física, de la matemática o de la biología correspondiente pueden decidir, ante un problema determinado, por dónde se sigue, de manera que aunque reciban órdenes, presiones, indicaciones de todo tipo irán siempre por dónde crean que se puede ir aun al precio de ir disfrazando sus resultados como propios de las indicaciones recibidas. En este nivel básico de la investigación la libertad es absolutamente obvia porque resulta que se parte de que no se sabe bien por dónde hay que ir (si se supiera, la investigación ya estaría hecha). El problema que se plantea la investigación básica está enteramente abierto y no puede abordarse con instrucciones externas a la lógica del proceso intelectual que siguen los investigadores. Su trabajo consiste, pues, en una determinada creación que como tal es independiente de cualquier clase de demandas externas al proceso de búsqueda.

En segundo lugar, los procesos de búsqueda avanzan, efectivamente, por donde pueden y no por donde se quisiera que avanzasen. La creación de saber es caprichosa, especialmente vista desde fuera. En ella tiene un papel más que mediano la casualidad. En el caso de la tecnología, que es un tipo de saber, se da, con enorme frecuencia, la misma coyuntura: se investiga un aspecto de un problema y se encuentran soluciones aplicables a otro completamente distinto y que no estaba como tal en la agenda o se adivinan formas de tratamiento de otros problemas que rompen enteramente con la lógica inicial del planteamiento previsto.

El creador no está imponiendo sus reglas a las cosas, está aprendiendo de ellas y con ellas, vive a su dictado y el texto resultante es muchas veces distinto al que se pensaba encontrar, pero el que vale es el que la realidad dicta, no el que las distintas suposiciones nos hacían creer. Los sofistas ya repararon en la condición paradójica de toda búsqueda, porque lo que se busca ya se conoce, pero se busca precisamente porque no se tiene. Así, lo que se encuentra no es siempre lo que se buscaba, pero sí es lo que se ha sabido buscar, muchas veces casualmente.

Como es lógico, toda esta serie de encuentros y desencuentros entre creadores-investigadores y las cosas en las que se ocupan están llenos de decepciones, de paradojas, de sorpresas. La historia de la ciencia documenta abundantemente sobre descubrimientos que no se han sabido ver, sobre hallazgos que sólo han sido importantes no para su autor sino para un lector posterior que ha visto en ellos lo que no supo ver quien primero los puso ante sus ojos.

Fruto de todo ello es que la creación tecnológica sea una mezcla de géneros y de disciplinas y que lo que puede no servir en un campo sea enormemente útil en otro bien distinto del primero. Toda búsqueda es un instrumento posible en cualquier otro lugar y, consecuentemente, no hay, o apenas hay, búsquedas inútiles. Apenas puede pensarse en mejor destino para un descubrimiento que ser la palanca necesaria para el levantamiento de otros. Dar a luz posibilidades enteramente nuevas es el destino de los descubrimientos más trascendentes, tanto en el terreno de la teoría como en los distintos ámbitos tecnológicos y prácticos.

5. La tecnología en la ciencia: las *revoluciones instrumentales*

Freeman J. Dyson ha escrito que la ciencia moderna se origina en la fusión de dos tradiciones, la del pensamiento filosófico griego y la de manufactura de utensilios que floreció con los artesanos medievales y, consecuentemente con ello, ve en la historia de la ciencia dos *escuelas* diferentes: la de los *unificadores*, que siguen la estela de Descartes, y la de los *diversificadores*, que se apoyan, más bien, en Bacon. Los unificadores tratan de reducir la prodigalidad de la naturaleza a unas pocas leyes y principios generales. Los diversificadores prefieren explorar los detalles de las cosas en su infinita variedad. Los unificadores aman las ecuaciones, que igualan y uniforman, mientras que los diversificadores prefieren ocuparse intensamente de las peculiaridades de las más distintas cosas, como pájaros y mariposas.

Consecuente con su propia visión diversificadota, Dyson considera que el descubrimiento es el acontecimiento científico primordial y elogia la tecnología porque permite alcanzar descubrimientos imprevistos que ayudan al investigador a formular nuevas preguntas. Dyson cree que no hay ilusión más peligrosa que pensar que el avance de la ciencia sea predecible y que si buscamos los secretos de la naturaleza en una sola dirección, no seremos capaces de descubrir los secretos más importantes, precisamente aquéllos que nuestra imaginación es incapaz de predecir. Pese a esta impredecibilidad del progreso científico, Dyson estima que una política científica y tecnológica adecuada puede impulsarlo y ha llevado a cabo una reflexión sobre la *ecología*⁷ de los proyectos tecnológicos para establecer las condiciones en que se puede optimizar la inversión tecnológica y su ritmo de crecimiento. Dos de los motivos que han hecho a Dyson fijarse en los instrumentos es que el avance en los aspectos científicos instrumentales o experimentales es más asequible –más previsible– que en los teóricos y que, además, las *revoluciones instrumentales* se suceden en ciclos temporales más cortos que las teóricas. Estas *revoluciones* a las que Dyson se refiere tienen su origen en la invención de nuevos instrumentos para investigar los fenómenos naturales y poder avanzar

⁷ Sobre este punto puede verse González Quirós y González Villa (2002).

en el desentrañamiento de los abundantes campos en que la realidad de las cosas desafía a nuestros conceptos previos.

Mientras que las revoluciones kuhnianas aportan, según Dyson, nuevos conceptos para comprender la naturaleza, explicando cosas antiguas de nuevas maneras, las revoluciones que Dyson señala se caracterizan por permitir la aparición de nuevos fenómenos que demandan una explicación de la que no se dispone. Dyson afirma que, aunque hayan atraído menos la atención del público no especializado, este tipo de revoluciones ha sido decisivo en el desarrollo contemporáneo de la mayoría de las ciencias, y particularmente en especialidades como la biología y la astronomía, y que la mayoría de las revoluciones científicas recientes ha sido de carácter instrumental.

Esta idea de Dyson puede apoyarse en numerosos testimonios de científicos en activo. Charles Townes, inventor del *maser* y del láser, hace notar, refiriéndose a la espectroscopia de microondas (Sánchez Ron, 2000, 26 y ss.), que el desarrollo histórico de este campo ha sido exactamente contrario al que suele considerarse común, porque se supone que en la mayoría de los casos la ciencia pura desarrolla principios e ideas, que luego se traducen en aplicaciones a equipos e instrumentos. Para Townes, en el caso de la espectroscopia de microondas ha sucedido lo contrario. Lo que se desarrolló primero fueron los equipos y los instrumentos, de manera que la ciencia pura tiene una deuda considerable con la tecnología.

Max Perutz (1990, 242), ha subrayado cómo Frederick Sanger comenzó a explorar el genoma de diversos organismos sin ninguna concepción previa sobre lo que podía encontrar e incluso sin una idea clara de cómo iba a averiguar lo que quería saber. Perutz subraya que Sanger no trabajaba según el ideal popperiano sino que se dedicó a inventar nuevos métodos químicos capaces de resolver problemas con los que nadie hasta ese momento se había enfrentado, que se creían insolubles. Al actuar de ese modo, no contrastaban sus experimentos con paradigmas previamente existentes, puesto que abrían nuevos mundos para los que no existían paradigmas⁸. Antes de que Sanger secuenciase el genoma del virus ϕ -X 174, nadie había pensado en que algunos genes pudiesen solaparse. Es interesante notar que Dyson (2000, 48-52) también aduce este mismo caso e insiste en que Sanger decidió estudiar este genoma no por interés en el virus, sino como ejercicio para los nuevos métodos de secuenciación que estaba inventando y desarrollando.

Durante el siglo XX ha aumentado enormemente la complejidad del equipamiento normal del laboratorio científico. Como ha subrayado C. P. Show (1967, 595), después de Rutherford nadie pudo hacer más investigación experimental con “sealing wax and string”. El aumento de la complejidad del instrumental, junto con el crecimiento de la comunidad científica, ha hecho que muchos hombres de ciencia tuviesen que dedicarse a la manufactura de este instrumental de manera industrial. También podemos encontrar testimonios que hablan de la importancia de los instrumentos para el desarrollo de la ciencia entre estos profesionales. Así, por ejemplo, Gerhard Kremer, antiguo director del International Bureau of Packard Instruments en Zürich, habla de (Rheinberger, 1998, 2) “research-enabling technology” para referirse a tecnologías que abren nuevos campos de investigación e incluso permitirán responder a preguntas aún no formuladas. La aparición, durante el último siglo, de esta nueva categoría de fabricantes de instrumentos no debe hacernos olvidar que la habilidad manual y la construcción de aparatos han sido vistas, desde siempre, como una

⁸ Perutz aduce también otro ejemplo que no se ajusta al ideal popperiano: el descubrimiento por Dorothy Hodgkin de la estructura tridimensional de la insulina.

virtud por numerosos científicos. Así, Otto Frisch (1982, 258) afirmaba que durante toda su vida se ha interesado más en el diseño de aparatos científicos que en los resultados que se pudiesen obtener con su ayuda. Y Perutz (1990, 209) nos recuerda, cómo Rutherford se lamentaba por los pobres tipos que no tienen laboratorios donde trabajar⁹.

Dyson cree que la construcción de aparatos innovadores y el desarrollo de nuevas tecnologías son inherentes a la investigación científica y que siempre habrá jóvenes emprendedores dispuestos a construir nuevos instrumentos con el fin de poder adentrarse en las nuevas fronteras de la ciencia. Esta tarea dará lugar a nuevas industrias artesanales que faciliten estos instrumentos a otros científicos y, en algunos casos, aportarán ventajas generales a la sociedad. Dyson observa que de este modo han nacido grandes complejos de industrias especializadas, por ejemplo informáticas o biotecnológicas, alrededor de los centros científicos. Dyson no sólo constata la indudable importancia del instrumental en el trabajo de los investigadores, sino que ha expuesto en numerosas ocasiones una idea muy original y amplia de *instrumento científico*. Dyson no sólo habla de los casos clásicos, como telescopios o microscopios, ni se limita a hablar de los sofisticados aparatos que hoy en día dominan la vida experimental. Su idea de instrumento científico es más amplia e incluye no sólo las herramientas y artificios sino incluso entidades *naturales*, como pueden ser los virus o los púlsares. Dyson (2000, 40-41) explica que el virus es un instrumento para el avance de la ciencia y la práctica médica. El virus permite invadir organismos más complejos e interviene de un modo que puede ser controlado en el funcionamiento de éstos. Esta característica, junto a otras cualidades como son la homogeneidad, la especificidad, la velocidad de reproducción, la facilidad y el bajo coste con que son cultivados..., convierte al virus en un instrumento idóneo para el estudio de organismos más complejos. Los púlsares son para Dyson (1994, 181) aceleradores naturales que nos proveerán de rayos cósmicos y laboratorios donde podremos estudiar las propiedades de la materia y la radiación.

Podemos encontrar otros matices interesantes de su idea en el caso del ordenador. Por un lado, Dyson (1998, 51) dice que el ordenador es una herramienta intelectual que nos ayuda a pensar mejor. Así, tenemos que la herramienta científica no se considera como algo que potencie nuestros sentidos o que valga para hacer mediciones, sino que es también una ayuda a nuestro entendimiento. Pero, además, afirma que el ordenador ha resultado revolucionario por facilitar la comunicación entre matemáticos y físicos¹⁰. Dyson considera que el

⁹ Es interesante observar que también Perutz se refiere en (1990, 215) al estilo “sealing wax and string” de Cavendish y a la pobreza de su equipo, que todavía persistía bajo la dirección de Bragg cuando él llegó. Esta pobreza se debía en parte, en opinión de Perutz, a la estricta economía que Rutherford, y Bragg, impusieron. Rutherford no pareció nunca preocuparse por la financiación de sus investigaciones y Perutz expresa la opinión de que Rutherford hubiera desaprobado las maniobras de los genetistas para conseguir dinero. Dyson (1994, cap. 13) expone una interesante visión del cambio de dirección, tras la muerte de Rutherford, del laboratorio de Cavendish.

¹⁰ Así, el concepto de instrumento científico de Dyson engloba no sólo a aquellos aparatos que el científico usa para el estudio directo de la naturaleza sino que también vale para definir aparatos que hayan cambiado la vida de los científicos. Dyson parece insinuar con ello que las facilidades de comunicación, accesibilidad a publicaciones, facilidades de manejo de datos... que el ordenador ha traído, han supuesto toda una revolución para la ciencia en general. En ese mismo sentido se podría decir que la carta en el siglo XVI, que apareció como medio usual de comunicación entre los científicos europeos o las revistas científicas, también fueron y siguen siendo (la carta fue sustituida por los faxes y por el e-mail hoy en día y las revistas tradicionales están siendo sustituidas por sus ediciones digitales y por los rápidos archivos digitales de “preprints”) herramientas científicas que, en su momento, han provocado revoluciones científicas y cambios de estilo en la manera de hacer ciencia. Estas herramientas revolucionan comúnmente la ciencia mediante la aceleración de sus ritmos de descubrimiento. Esta idea, que se encuentra de forma más o menos implícita en Dyson, recuerda al concepto de *aplicación asesina* que Bill Gates introdujo para explicar la amplia aceptación del ordenador personal.

ordenador es potencialmente capaz de generar muchas más herramientas (y revoluciones) científicas. En el futuro muchos instrumentos nuevos se originarán en la *industria artesanal del software*. En el futuro habrá numerosas oportunidades de diseñar distintos programas informáticos que serán de gran utilidad para la investigación científica. Dyson señala como, hoy en día, la astronomía digital, con proyectos como la Inspección Digital del Firmamento patrocinada por la Fundación Sloan, o la biotecnología, que precisa de programas que ayuden a la secuenciación y a la recolección de bibliotecas de genomas que sean fácilmente consultables, ya está ofreciendo numerosas oportunidades a los programadores para desarrollar nuevas herramientas.

Dyson mismo propone varios ejemplos de *revoluciones instrumentales*: el telescopio de Galileo, las tres revoluciones (cristalografía de rayos X, espectroscopia de microondas y las observaciones de astronómicas de microondas) que propició John Randall, los programas informáticos del astrónomo polaco Alexander Wolszczan, los métodos de secuenciación de proteínas y de ADN de Frederick Sanger (cuya importancia también destaca Judson), además de otros casos en muy diversos campos.

Un caso distinto de *revolución instrumental*, no aducido por Dyson, lo encontramos en los orígenes del estudio del sistema nervioso. El método de tinciones desarrollado por Golgi sirvió para descubrir el órgano que lleva su nombre pero además, en manos de Cajal, se convirtió en la herramienta que cambió el curso de la neurología. La obra de Cajal puede considerarse un magnífico ejemplo de *revolución instrumental* pese a que el microscopio que fue su herramienta de trabajo toda la vida no cambió sustancialmente¹¹: de hecho, la contribución de Cajal no fue una mejora del instrumento sino mejoras y nuevos métodos para teñir las preparaciones. La aportación de Cajal no fue primordialmente teórica, sino que consistió, precisamente, en valerse de mejoras técnicas para derribar la opinión más común entre sus colegas porque (1981, 52) “subyugados por la teoría, los principales histólogos veíamos entonces redes por todas partes”. La innovación de Cajal fue mucho más técnica que doctrinal pero sus implicaciones cambiaron por completo el futuro del estudio del cerebro y el de la histología. La situación al comienzo de sus trabajos se caracterizaba, en palabras de Cajal (1981, 53), porque “los recursos analíticos de aquellos tiempos eran asaz insuficientes para abordar eficazmente el magno y atrayente problema”. Cajal estudió y practicó las técnicas disponibles y se hizo muy consciente de sus limitaciones. Su diagnóstico era certero (1981, 54): “faltábanos el arma poderosa con que descuajar la selva impenetrable de la sustancia gris”. Su dedicación y su convencimiento en la necesidad de lograr esa arma definitiva fue la clave del éxito y abrió las puertas al triunfo de la teoría neuronal, relegando al olvido la vieja hipótesis reticular. La continuación de la historia es bien conocida.

El caso Cajal puede tomarse como una primera ilustración de la importancia que ha tenido en el desarrollo contemporáneo de la biología el factor instrumental. En la literatura especializada que ha analizado la historia de la biología contemporánea tras el descubrimiento de la estructura de la doble hélice, es fácil encontrar juicios que podrían confirmar la afirmación de Dyson. Nos referiremos, en primer lugar, al testimonio de Robert Olby (1974), una informadísima y muy autorizada historia no sólo del descubrimiento de la estructura del ADN sino también de la “revolución” o “revoluciones” que experimentó la biología a mediados del pasado siglo XX. Se trata de una obra que, además de recurrir a un

¹¹ Como nos recuerda Hacking (1983, 192): “Many of the chief advances in microscopy have nothing to do with optics. We have needed microtomes to slice specimens thinner, aniline dyes for staining, pure light sources, and, at more modest levels, the screw micrometer for adjusting focus, fixatives and centrifugates”.

lenguaje kuhniano, destaca claramente la importancia de los aspectos experimentales e instrumentales en el cambio de paradigma, desde lo que llama “la versión de la proteína del dogma central” a “la versión del ADN del dogma central”. En la conclusión de esta obra se dedica una sección a analizar el papel de métodos e instrumentos en el nacimiento de la biología molecular.

Además, Olby ha remarcado que un importante factor de la creación de la biología molecular se debió a la llegada de físicos y de químicos al área de investigación de los biólogos, y a la fusión de dos tradiciones o escuelas: la escuela estructural y la escuela de la información. Estos cambios que fueron, según Olby, fuertemente impulsados por causas externas a la biología, principalmente por la financiación de la Fundación Rockefeller, produjeron y fueron, además, acompañados de un nuevo tipo de *profesionalismo* (cursivas del original) que exigía el mismo tipo de rigor en las explicaciones que el que era corriente en física.

La monumental obra de Olby ha influido enormemente en la investigación posterior sobre la historia de la biología molecular y pone en juego ideas similares a las propuestas por Dyson. En otro estudio clásico del desarrollo de la biología molecular, de Horace Freeland Judson (1996), también se califica de revolución científica el origen de la biología molecular, aunque Judson difiere de Olby al caracterizar el núcleo de dicha revolución, pues no considera que la clave se encuentre en el cambio de concepción sobre la naturaleza del gen. Judson afirma que la clave reside en el acuerdo acerca de lo que es la “especificidad biológica”. Para Judson, el esclarecimiento de la naturaleza molecular del gen y el trabajo de Frederick Sanger (que determinó, a mediados de los años cincuenta, la secuencia de aminoácidos de la insulina bovina, lo que desterró la posibilidad de que las proteínas tuviesen algún tipo de estructura periódica), son hechos decisivos porque abrieron paso al concepto clave de especificidad biológica.

Judson señala una diferencia entre las clásicas revoluciones de la física (la astronomía copernicana, la física newtoniana, la relatividad o la mecánica cuántica), y las revoluciones que ha experimentado la biología en este siglo: las revoluciones en biología no han tenido lugar por “overturnings” sino por “openings-up”. Judson muestra cómo estas nuevas revoluciones se traducen en cambios de estilo en la biología molecular y menciona la importancia que han tenido las agencias e instituciones que, como el U. S. Department of Energy, han financiado estos estudios.

6. La creación en tecnociencia

El espectacular desarrollo contemporáneo de las más diversas tecnologías no ha traído consigo un cambio mínimamente equivalente en nuestras ideas acerca de lo que la tecnología es, de manera que aunque el conjunto de las tecnologías que dominamos es muy distinto al vigente en los orígenes del pensamiento griego muchas de las ideas en circulación respecto a la tecnología provienen todavía de aquella época. Así nuestra contraposición espontánea entre tecnología y naturaleza es de cuño griego como lo es la tendencia a ver la tecnología como algo de menos valor que el puro saber. Pese a esos malentendidos, la tecnología nos sigue sacando de diversos apuros y, según se repite insistentemente, nos mete en algún que otro atolladero. Cualquier disciplina científica tendería a envanecerse con unos logros

ligeramente semejantes a los obtenidos por las distintas tecnologías; su consideración intelectual sigue siendo, pese a ello, la de actividades de segunda fila, cosas sin demasiado interés frente al conocimiento puro. Las tecnologías son prácticas, realistas, están siempre muy atentas a las condiciones del caso y siguen siendo modestas. Se dejan llevar por el diseño y la imaginación, pero nunca pierden de vista el entorno en el que sus avances son concebibles, practicables y útiles.

En la base de ese dualismo valorativo está probablemente un malentendido respecto a la forma en que se crea la tecnología, un dualismo que reserva el genio para la ciencia y atribuye a la tecnología una condición intelectualmente más humilde. La imagen romántica de la creación es una imagen idealista, una concepción conforme a la cual el hombre extrae de su genio la obra bien hecha e impone al mundo su razón, la fuerza de su espíritu. Frente a esa metáfora romántica la imagen contraria y, en cierto modo, complementaria es mucho más verosímil aunque quizá menos grandiosa. El creador encuentra entre las infinitas hebras que componen el tapiz de la realidad que se le ofrece en su experiencia de trato con el mundo (un trato que ahora más que nunca ya está irremediablemente mediado por las distintas tecnologías de la percepción) una nueva posibilidad y ensaya con ella para ver si consigue una novedad coherente con el resto del mundo, una nueva realidad. Su trabajo es, por tanto, el de un explorador, el de quien se adentra en una selva, no el de quien junta caprichosamente palabras o pinceladas en su gabinete. Su diosa puede ser la inspiración, pero su dios más efectivo es el peso de la realidad con la que se enfrenta.

Parece evidente que, sea cuál sea la *ontología* que tengamos en la mente (o lo que fuere y dónde estuviere), preguntarse por la *tecnología* como *creación* es un tema con fundamento. Para empezar, la tecnología es algo sin duda importante y sus creadores son bastante escasos... de modo que puede parecer razonable sostener que los *creadores* han debido tener alguna clase de don especial que permita distinguirlos de los simples mortales... incluso de los mortales que se dedican a la cuestión pero no son *creadores*, gente un poco menos fina.

La tecnología no siempre ha existido, ha sido hecha. En eso se parece a la pintura o a la música. Pero las tecnologías no consisten en una colección más o menos ordenada de creaciones individuales, de hazañas creativas. Son algo más complejo: un edificio, una institución, una rara entidad para la que nos acaba de servir ni la metáfora de la *selva* ni la del *método*, porque su conjunto forma en todo caso un universo cambiante, escasamente sistemático, muy intrincado. Las artes, cualesquiera que sean, son otra cosa: llevan nombres y apellidos y cuando se separan de sus creadores acaban por ser algo muerto, de museo y, además, ocurren cuando ocurren, no suele haber *simultaneidad* entre ellas (aunque se establezca algo parecido *a posteriori*) porque no están enraizadas en una matriz común, mientras que los científicos y los ingenieros consiguen dar la sensación de que siempre están trabajando en lo mismo. Medawar (1997, 57) observó a este respecto que no hay copyright en los descubrimientos científicos a no ser que estén garrafalmente equivocados y que “a los artistas no les preocupa la prioridad, pero Wagner, sin lugar a dudas, no se habría pasado veinte años con *El anillo del nibelungo* si hubiese creído mínimamente posible que alguien le pisase *El crepúsculo de los dioses*”.

Por supuesto que las tecnologías (la arquitectura, por ejemplo, las soluciones informáticas o las estrategias aplicables al gobierno de un banco) también se organizan de acuerdo con el nombre, especialmente con el *renombre* de sus creadores, personas o empresas: pero, de algún modo, subsiste la impresión de que los *creadores* nos han dado algo que en realidad no es meramente suyo, que tiene tales propiedades que pasa a ser común e inagotable. De

hecho, sin embargo, la ciencia anterior a la tecnociencia contemporánea ha sido creada, exclusivamente, por personas singulares, por individuos aislados pues, como anota Bachelard (1951, 9) respecto de la matemática puede decirse que no hay un solo ejemplo de ciencia a dos voces y ello ha seguido siendo así hasta hace tan solo cuatro días¹².

En cualquier caso, la pregunta por la tecnología como creación tiene que afrontarse desde dos perspectivas suficientemente distintas: la primera es de orden más antropológico o individual y se refiere a las motivaciones, a la *creatividad*, a las diversas condiciones que afectan al hecho de la creación, a la invención de algo hasta entonces inexistente u oculto. La segunda aproximación es, en cierto modo, independiente de las respuestas que alcancemos colocándonos en la primera y se vincula con el hecho de que vivimos en un mundo marcado por la ciencia y la tecnología, un mundo que ha sido *creado* y que es cada vez más poderoso y autosuficiente. De hecho, la creación de ese mundo ha tenido históricamente la consecuencia de *destruir* o minusvalorar diversos mundos previamente valiosos, como los de la tradición y la religión por no citar sino los más obvios.

Tanto en un caso como en otro se ha de recurrir a dos fuentes de explicación para dar cuenta del fenómeno de la creación en tecnología y en la tecnociencia. La primera de esas fuentes es de carácter *lógico*, o epistemológico, tiene que ver con el lenguaje, con las ideas y la mente del hombre. Se trata de una consideración de la tecnología y de la ciencia en tanto que un producto sofisticado de la inteligencia o de la razón. La segunda vía de análisis tiene que ver, complementariamente, con la praxis, con el sentido del mundo en el que emerge la labor de quienes crean la tecnociencia y las distintas tecnologías, con la relación, por tanto, entre la ciencia y el resto del mundo, de la sociedad, de la economía etc.

En cualquier caso, es el momento de recordar que, aunque la respuesta a cómo se crea la novedad tecnológica pueda estar muy clara para muchos, es evidente que no hay una ciencia de esa clase de cosas (como, por cierto, no la hay de la *creación*), aunque sean muchos los saberes que aspiran a colonizar el espacio que se abre tras esas preguntas, sobre todo la psicología y la sociología.

Una aproximación empirista a la creación en tecnología nos hace ver la innovación como una resultante del trato habitual con las cosas, de los intentos de obtener resultados cada vez mejores, del empeño por simplificar y ganar eficacia. Es, en todo caso, la complejidad de la realidad quien nos desafía y quien se enfrenta a la pureza mental de nuestros diseños, a lo que nos permite imaginar el mundo de otra manera. La tecnología es precisamente el trayecto entre esa imaginación y las respuestas efectivas de manera que en ese trayecto se van descubriendo nuevas cosas por las que seguramente nunca nos habíamos preguntado. Por eso la tecnología es tan madre del conocimiento como hija de sus avances, es conocimiento aplicado, pero también fuente de nuevos saberes y perspectivas.

Han cambiado mucho las cosas desde el momento en el que los encargados de su ejecución pudieron decirle a Lavoisier que “la república no tiene necesidad de los químicos”. Está claro que la ciencia y la tecnología son hoy condiciones absolutamente imprescindibles del capital y del poder. El poder necesita de la ciencia y la ciencia no puede hacerse sin el concurso del poder político y del dinero, del mercado. Aunque en el pasado las relaciones

¹² Enrico Fermi (Holton 1989, 64 y ss.) fue el que inauguró la costumbre de firmar artículos en equipo. Por cierto que fue Fermi también quien primero adoptó la práctica de enviar prepublicaciones (“preprints”) a sus colegas científicos (Holton 1989, 91-92)..

entre ciencia / poder / y guerra hayan sido también muy estrechas, es evidente que ahora son absolutamente esenciales.

La tecnología no es sólo un factor político por esta razón aunque también lo sea por ella. La tecnología ha sido un elemento esencial en la guerra moderna (en realidad, en todas las guerras pues la superioridad del armamento ha sido siempre decisiva) en la medida en que el alejamiento de la intuición inmediata que la ciencia ha traído consigo se refleja de algún modo en el alejamiento de la victimación que alcanza su cenit momentáneo en la ciber-guerra. Tal como lo entiende Clausewitz la guerra es la violencia desatada para *obligar al enemigo a aceptar nuestra voluntad*, y la ciencia y la tecnología pueden ser la mejor *retórica* al respecto.

La asociación de la tecnociencia con el poder suele encaminar a la tecnología a refugiarse en el secreto; de hecho sabemos que los presupuestos para investigación militar suelen ser más amplios que los destinados a investigación civil. Los EEUU alcanzaron la supremacía científica total tras el nazismo y la derrota alemana a consecuencia del enorme esfuerzo hecho en Los Álamos para poner en marcha las bombas atómicas y de hidrógeno. Luego la financiación de las distintas administraciones gubernamentales siguió siendo decisiva. Todo ello suele tropezar con una atmósfera de cierta falta de esa libertad que casi siempre se ha considerado esencial para la ciencia que “prospera mejor en casas acristaladas, a las que cualquiera se puede asomar”, por decirlo con palabras de Perutz (1990, 18).

La tecnociencia representa para el mundo moderno algo más que un importante sector de la actividad humana porque, a través de la educación formal, la tecnociencia se ha convertido en un paradigma del comportamiento racional. La tecnociencia se asienta socialmente en una transmisión de saberes a través de la educación y en una administración delicada de las verdades que se asientan en nuestros *cerebros exosomáticos* (como gustaba llamarlos Medawar) porque nadie puede saber al mismo tiempo todo lo que se precisa saber para avanzar en cualquier campo, no ya hoy, sino desde hace unos cuantos siglos. Desde un punto de vista lógicamente ideal, nociones como la popperiana del Mundo III pueden ayudar, en principio, a poner un cierto orden en esa turbamulta de datos, discusiones y propuestas que descansan tenemos en los infinitos espacios que ocupan nuestras revistas y bibliotecas (cuando están bien surtidas) y, ahora, en la red de redes. La tecnociencia que ha suministrado a las sociedades el elemento organizativo necesario para que hayan sido posibles las sociedades de masas, las grandes ciudades, para que, como lo vio Ortega, el hombre intelectualmente medio dotado de métodos firmes y exactos pueda operar con éxito sin conocer a fondo las razones de los resortes que maneja, debería encontrar remedio para esa amenaza que le viene de su propia exhuberancia.

En la actualidad estamos asistiendo a la aparición de fenómenos inquietantes en la relación entre tecnociencia y sociedad de masas porque, por un lado, como escribió Truesdell (1975, 278) a propósito de la historia de los orígenes de la teoría cinética de los gases, “en cuestiones de la ciencia, la mayoría siempre se equivoca”, pero, por otra parte, esas mayorías de opinión son esencialmente necesarias para formar la opinión que legitima la política democrática que es quien determina, en último término, qué programas de investigación se ha de financiar. La diferencia entre lo que tomamos por ciencia y lo que rechazamos como tal, ha llegado a ser mucho más alambicada y difusa de lo que nos gustaría creer, especialmente en un mundo en el que la ciencia, la notoriedad y los negocios ya no viven en

casas separadas. Es significativo que una noción como “masa crítica”¹³ que se utilizó para explicar fenómenos de inestabilidad nuclear se utilice también para explicar el tamaño óptimo de los centros de investigación: las masas críticas pueden controlarse, pero a veces, explotan.

Hay que destacar que para muchos autores críticos, la tecnología y la ciencia misma se han convertido en una amenaza. A esa luz hay que entender los intentos de la filosofía de la ciencia por romper la imagen positivista de la ciencia y por hermanar a la ciencia con el resto de actividades sociales más o menos reflexivas en el sentido de Beck, Lash y Giddens. Ahora estamos ya lejos de esa infección cientifista y la propia filosofía de la ciencia propone una imagen mucho menos unitaria de la ciencia misma sin que esa *desunidad* sea considerada una carencia lamentable sino, muy por el contrario, un síntoma de pujanza y de vitalidad¹⁴, una manifestación de la libertad del genuino espíritu científico.

En lo tocante a la tecnología, la gran respuesta que desvelará el futuro es si la tecnología sabrá ponerse al servicio de los mejores fines humanos o se convertirá, como tantas veces pasa ahora, en una indomeñable camisa de fuerza. Un buen tema para los creadores.

Bibliografía

Bachelard, Gaston (1951): *La activité rationaliste de la Physique contemporaine*. PUF , Paris.

Bachelard, Gaston (1966): *Psicoanálisis del fuego*, Alianza, Madrid.

Brezinski, Claude (1993): *El oficio de investigador*, Siglo XXI, Madrid.

Changeux, Jean Pierre y Connes, Alain (1993). *Materia de reflexión*, Tusquets, Barcelona.

Dyson, Freeman J. (1994): *De Eros a Gaia*, Tusquets, Barcelona.

Dyson, Freeman J. (1998): *Mundos del futuro*, Crítica, Barcelona.

Dyson, Freeman J. (2000): *El Sol, el genoma e internet. Las tres cosas que revolucionarán el siglo XXI: la energía solar, la ingeniería genética y la comunicación mundial*, Debate, Madrid.

¹³ Ulam (2002, 277) describe la aparición de la expresión en Los Álamos: “*masa crítica* se hizo común como descripción metafórica del tamaño mínimo necesario de un grupo de científicos que colaboran para lograr exitosos resultados. Si es lo suficientemente grande, el grupo produce resultados explosivamente. Cuando se alcanza la masa crítica debido a la estimulación recíproca, la multiplicación de los resultados, como la de los neutrones, se hace más rápida y crece exponencialmente”.

¹⁴ Galison (1997, 781): “I will argue this: science is disunified, and – against our first intuitions – it is precisely the disunification of science that brings strength and stability. This argument stands in opposition to the tenets of two well-established philosophical movements: the logical positivists of the 1920s and 1930s, who argued that unification underlies the coherence and stability of the sciences, and the antipositivists of the 1950s and 1960s, who contended that disunification implies instability”.

- Echeverría, Javier (2003): *La revolución tecnocientífica*, Fondo de Cultura Económica. Madrid,
- Ferris, Timothy (1991): *The World Treasury of Physics, Astronomy, and Mathematics*, Little, Brown & Company, Boston.
- Frisch, Otto R. (1982): *De la fisión del átomo a la bomba de hidrógeno*, Alianza, Madrid.
- Galison, Peter (1987): *How Experiments End*, Chicago University Press, Chicago.
- Galison, Peter (1997): *Image and Logic. A material Culture of Microphysics*, The University of Chicago Press, Chicago.
- González Quirós, J. L. y González Villa, M. (2002): “Tecnología y progreso científico. Las ideas de F. J. Dyson sobre política tecnológica”, en Actas del Congreso internacional “Ciencia, tecnología y bien común: la actualidad de Leibniz”, Universidad Politécnica de Valencia, pp. 447-453.
- Hacking, Ian (1983): *Representing and intervening. Introductory topics in the philosophy of natural science*, Cambridge University Press.
- Hadamard, Jacques (1945) *An Essay on the Psychology of Invention in the Mathematical Field*, Princeton University Press, New York.
- Holton, Gerald (1989): *La imaginación científica*, Fondo de Cultura Económica, México.
- Judson, Horace Freeland (1996): *The eighth day of creation. Makers of the revolution in Biology*, Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1996.
- Leibniz, G. W. (1961): *Discours touchant la methode de la certitude et l'art d'inventer pour finir les disputes et pour faire en peu de temps des grand progrès*, En G. I. Gerhardt, Ed. *Die Philosophischen Schriften von Gottfried Wilhelm Leibniz*, VII, Georg Olms Verlagsbuchhandlung Hildesheim.
- Medawar, Peter B. (1988): *Los límites de la ciencia*, FCE, México.
- Medawar, Peter (1997): *El extraño caso de los ratones moteados*, Crítica, Barcelona.
- Olby, Robert (1974): *The path to the double helix*, Mcmillan, Cambridge.
- Ordóñez, Javier (2002): *Ciencia, tecnología e historia*, Fondo de Cultura Económica. Madrid.
- Ortega y Gasset, José (1962): *La idea de principio en Leibniz y la evolución de la teoría deductiva*, Obras completas VIII, Revista de Occidente, Madrid.
- Ortega y Gasset, José (1965): *Una interpretación de la historia universal*, Obras Completas, IX, Revista de Occidente, Madrid.
- Perutz, Max F. (1990): *¿Es necesaria la ciencia?*, Espasa, Madrid.

Perutz, Max F. (2002): *Los científicos, la ciencia y la humanidad. Ojalá te hubiese hecho enojar antes*, Granica, Barcelona.

Poincaré, Henri (1908): “L’invention mathématique”, Bulletin de l’Institut General Psychologique, 3, mai-juin 1908, p. 175-187.

Polya, George (1980): *Mathematical Discovery*, John Wiley & Sons, New York.

Ramón y Cajal, Santiago (1981): *Recuerdos de mi vida: Historia de mi labor científica*, Alianza, Madrid.

Rheinberger, Hans-Jörg (1998?): “Putting Isotopes to Work: Liquid Scillation Counters, 1950-1970”, Preprint 121, Max-Planck Institut für Naturwissenschaftsgeschichte.

Sánchez Ron, J. M. (2000): *El siglo de la ciencia*, Taurus, Madrid.

Snow, C. P. (1967): “Rutherford”, Ferris Ed., 1991, págs. 591-602. También en *Variety of men*, Curtis Brown Ltd., London, 1967.

Truesdell, C. (1975): *Ensayos de historia de la Mecánica*, Tecnos, Madrid.

Ulam, Stanislaw M. (1976) *Adventures of a Mathematician*, Charles Scribner’s Sons, New York. [trad. esp. Ulam, Stanislaw M. (2002) *Aventuras de un matemático*, Nivola, Tres Cantos.]