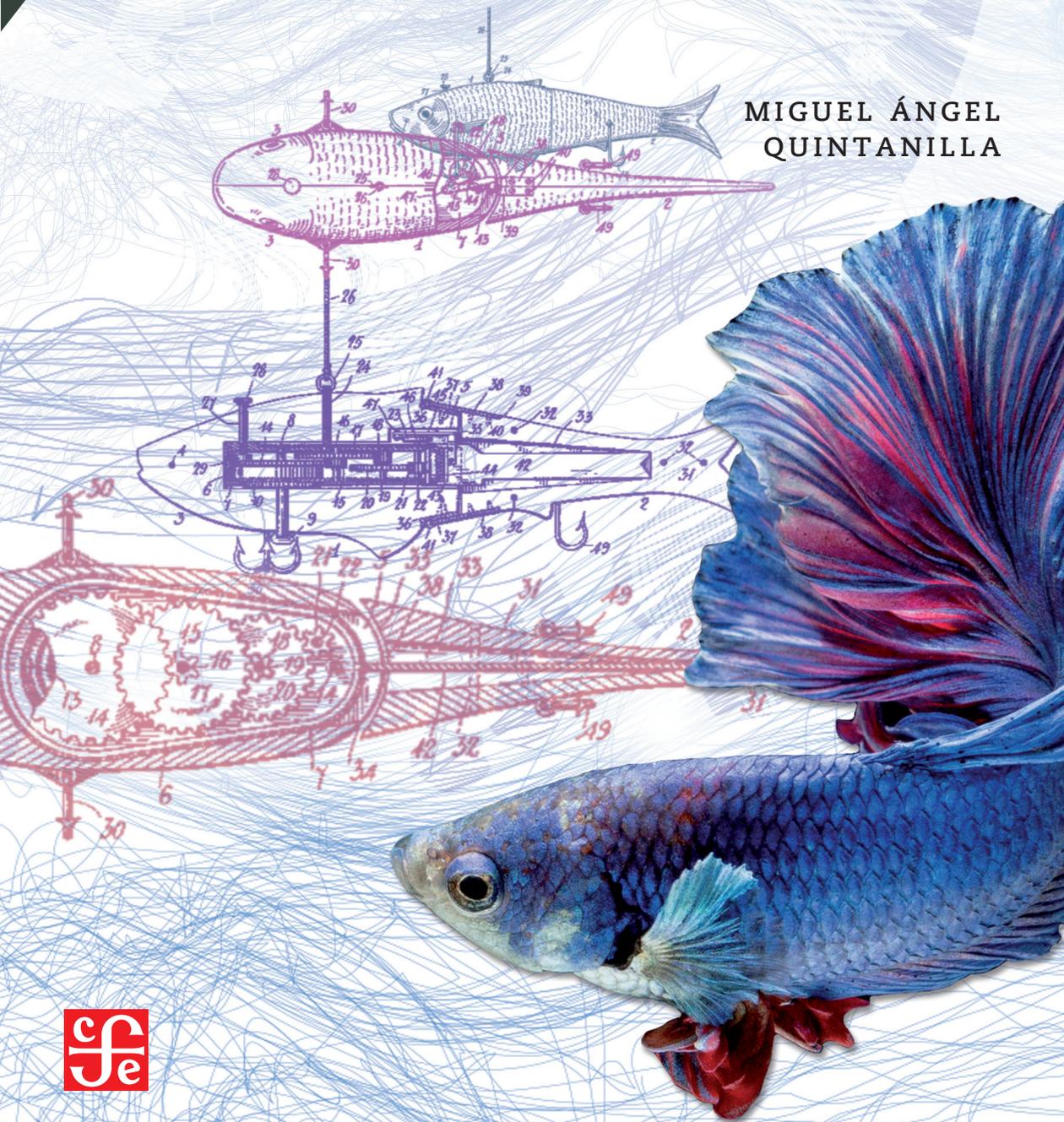


Tecnología: un enfoque filosófico y otros ensayos de filosofía de la tecnología

MIGUEL ÁNGEL
QUINTANILLA



MIGUEL ÁNGEL QUINTANILLA

es catedrático emérito de lógica y filosofía
de la ciencia en la Universidad de Salamanca.

Especialista en filosofía de la tecnología,
evaluación de políticas científicas
y universitarias, comunicación científica y
difusión de la cultura científica; fundó
y dirigió, hasta 2015, el Instituto de Estudios
de la Ciencia y la Tecnología, y actualmente
preside la Fundación 3CIN para la Ciencia,
la Cultura Científica y la Innovación.

CIENCIA, TECNOLOGÍA, SOCIEDAD

TECNOLOGÍA: UN ENFOQUE FILOSÓFICO

Comité de selección de obras

Dr. Antonio Alonso

Dr. Héctor Nava Jaimes

Dr. León Olivé (†)

Dra. Ana Rosa Pérez Ransanz

Dr. Ruy Pérez Tamayo

Dra. Rosaura Ruiz

Dr. Elías Trabulse

MIGUEL ÁNGEL QUINTANILLA

Tecnología: un enfoque filosófico
y otros ensayos
de filosofía de la tecnología

Prólogo

MARIO BUNGE



FONDO DE CULTURA ECONÓMICA

Primera edición, 2005
Segunda edición, 2017

Quintanilla, Miguel Ángel

Tecnología: un enfoque filosófico y otros ensayos de filosofía de la tecnología / Miguel Ángel Quintanilla ; pról. de Mario Bunge. — 2ª ed. — México : FCE, 2017

278 p. : ilus. ; 23 × 17 cm — (Colec. Ciencia, Tecnología, Sociedad)
ISBN 978-607-16-5041-2

1. Tecnología 2. Filosofía — Tecnología I. Bunge, Mario, tr. II. Ser III. t

LC Q175.5

Dewey 600 Q474t

Diseño de portada: Paola Álvarez Baldit
Ilustración elaborada con imágenes de iStock de Getty Images/Mirko-Rosenau

D. R. © 2005, Fondo de Cultura Económica
Carretera Picacho-Ajusco, 227; 14738 Ciudad de México
www.fondodeculturaeconomica.com
Comentarios: editorial@fondodeculturaeconomica.com
Tel. (55) 5227-4672

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra, sea cual fuere el medio, sin la anuencia por escrito del titular de los derechos.

ISBN 978-607-16-5041-2 (rústico)
ISBN 978-607-16-5212-6 (electrónico-pdf)

Hecho en México • *Made in Mexico*

SUMARIO

<i>Presentación a la segunda edición</i>	9
<i>Prólogo a la segunda edición. ¿Somos naturales o artificiales?, Mario Bunge</i>	11
<i>Prólogo a la primera edición</i>	15

Primera parte

TECNOLOGÍA: UN ENFOQUE FILOSÓFICO

<i>Prefacio</i>	21
I. <i>Problemas filosóficos de la tecnología</i>	25
II. <i>Caracterización de la técnica</i>	46
III. <i>Fundamentos de la ontología de la técnica</i>	63
IV. <i>La estructura de los sistemas técnicos</i>	81
V. <i>Diseño y evaluación de tecnologías</i>	102
VI. <i>El desarrollo tecnológico</i>	126
<i>Anexo. Formalismos de la teoría de sistemas y de los sistemas de acciones</i> .	140

Segunda parte

OTROS ENSAYOS DE FILOSOFÍA DE LA TECNOLOGÍA

VII. <i>Veinte años después.</i>	151
VIII. <i>La construcción del futuro</i>	166
IX. <i>La tecnología como paradigma de acción racional</i>	182
X. <i>La racionalidad instrumental</i>	197
XI. <i>Una ética para el desarrollo tecnológico</i>	205
XII. <i>Tipos de conocimiento tecnológico y gestión de la innovación</i>	210
XIII. <i>Cultura tecnológica e innovación</i>	217
XIV. <i>Educación y cultura tecnológica</i>	230
XV. <i>Integración cultural e innovación técnica (Una lección de la historia de España en la Edad Moderna)</i>	240
XVI. <i>Recetas para hacer real otro mundo posible</i>	249
<i>Referencias bibliográficas</i>	263

PRESENTACIÓN A LA SEGUNDA EDICIÓN

Esta nueva edición de *Tecnología: Un enfoque filosófico y otros ensayos de filosofía de la tecnología* incorpora dos partes completamente nuevas. Una es el prólogo de Mario Bunge, que en realidad es un ensayo original y lúcido sobre el concepto de *lo artificial*, pero también un cariñoso recordatorio del itinerario intelectual que el autor de este libro ha seguido en sus indagaciones filosóficas sobre la técnica. En efecto, fue durante mi estancia en la Universidad McGill, invitado por el profesor Bunge, donde tuve la oportunidad de conocer en profundidad su ontología científica y sistémica, cuyo entramado conceptual fue fundamental para articular el concepto central de mi filosofía de la técnica, el de sistema tecnológico como sistema intencional de acciones. Pero también fue aquella estancia una inolvidable ocasión para disfrutar de la amistad y la generosidad de Mario Bunge y su familia, algo que nunca olvidaré. Aprovecho esta ocasión para dejar testimonio de mi agradecimiento y mi deuda intelectual con Bunge.

Además del prólogo de Bunge, la presente edición incluye un nuevo capítulo final: “Recetas para hacer real otro mundo posible”. Lo hemos incluido porque se trata de un texto que, en cierto modo, cierra el ciclo de reflexiones sobre la técnica iniciado por el autor en los años ochenta, reflejado en toda la segunda parte de este libro; pero también porque destaca la importancia de un elenco nuevo de temas, organizados en torno al diseño de modelos alternativos de desarrollo tecnológico y de políticas científicas. Como recordamos en el prólogo de la primera edición, el mundo que queremos construir no depende tanto de las tecnologías que hoy tenemos disponibles cuanto del tipo de tecnologías que decidamos desarrollar para el futuro. Necesitamos modelos alternativos de desarrollo tecnológico si queremos organizar el mundo de forma diferente. El texto de este nuevo capítulo tiene su origen en una ponencia presentada en 2004, pero incorpora un *adendum* sobre la noción de *tecnologías entrañables*, como base para el diseño de ese modelo alternativo de desarrollo tecnológico que necesitamos.

Finalmente, quiero expresar mi agradecimiento a la editorial Fondo de Cultura Económica de México por el interés y la profesionalidad con que han preparado esta segunda edición.

MIGUEL ÁNGEL QUINTANILLA
Salamanca, 21 de diciembre de 2016

Prólogo a la segunda edición
¿SOMOS NATURALES O ARTIFICIALES?

I am typing in my cozy study while outside it is snowing. Thus, I am combining the natural with the artificial, as befits a simian who was Lucy enough to be born in the Anthropocene, the epoch that started when some of our remote ancestors began altering nature by clearing forests and planting seeds that would allow them to eat porridge rather than the game imagined by the anthropologists who made up the myth that civilized man was preceded by the mighty hunter.

Perdón, Miguel Ángel, por haber comenzado a escribir en inglés, pero es que esta lengua me resulta más natural que el dialecto porteño que aprendí hace casi un siglo. Sucedió que hace medio siglo, cuando emigré de Argentina a Norteamérica, me enculturé en un entorno en el que se suele hablar inglés, aunque a unas pocas estaciones de subte empieza el distrito francófono, donde es natural hablar el *patois* local, el dialecto que inventaron los descendientes de los primeros franceses que vinieron para adquirir y vender pieles de castor, mapache, alce y oso. Para ellos era tan natural cazar estos animales como cultivar el maíz que alguien había importado de México, aun cuando tanto para cazar como para roturar la tierra se valían de artefactos que asombraron a los naturales del país, hasta que aprendieron a manejarlos con soltura. Este proceso de enculturación duró apenas una generación, y dañó a los indígenas tanto como benefició a quienes los explotaron. En efecto, el “contacto” con los europeos hizo que los indígenas se contagiasen con enfermedades contra las cuales no estaban inmunizados, y adoptasen hábitos y creencias formados al otro lado del océano: trabajar más de lo necesario para subsistir, alcoholismo, maltrato de las mujeres, abuso de armas de fuego, secuestro de los niños en escuelas religiosas donde abusaban de ellos, participación en conflictos bélicos ajenos a sus propios intereses, etcétera.

No fue que el buen salvaje imaginado por Rousseau hubiese sido desnaturalizado por su contacto con los artificios importados por los inmigrantes europeos, sino que esos artificios suplantaron a los que habían inventado los aborígenes, tales como las ropas y calzados de cuero, el arco y la flecha, las plantas originarias, supersticiones diferentes, etc. Los conquistados no eran más naturales que los conquistadores: simplemente, se valían de artificios diferentes, y en muchos casos

menos eficaces. Tampoco eran pueblos sin historia, como creía Hegel, sino que su historia era diferente porque su modo de vida era diferente. No solía destacarse quien subyugaba o mataba más gentes sino quien invitaba a los festines más generosos.

No sé por qué te he dicho todo eso, Miguel, porque tú lo sabes muy bien, no sólo por tus lecturas salmantinas, sino también porque has vivido un tiempo aquí mismo, cuando eras mi *research associate* en la difunta Foundations and Philosophy of Science. ¿Recuerdas el dilapidado edificio que ocupábamos? Tenía más de un siglo, y nuestros despachos estaban en el tercer piso. El techo tenía tantas lajas rotas que una vez que nevó más que de costumbre se hundió, lo que arruinó muchos de mis libros y papeles. El tuyo daba a la calle Peel, y el mío era interno, y desde mi ventana se veía el local del centro de estudiantes, tan bien que una vez vi cómo se hacía el amor una pareja de estudiantes. Yo había convertido la mayor de las habitaciones en un aula que usábamos para mi seminario y donde había un pizarrón en el que solíamos escribir fórmulas de filosofía exacta. Para bien o para mal, ninguno de mis colegas participó en nuestras discusiones, porque solamente les interesaban las ideas perimidas de otros.

Fue allí y entonces cuando tomaste la decisión que habría de cambiar tu rumbo académico: la de dedicarte a la filosofía de la tecnología. Esta nueva rama de la filosofía había sido vislumbrada por Ortega y Gasset en 1939, durante su exilio voluntario en Buenos Aires, y adquirió alguna notoriedad al terminar la segunda Guerra Mundial gracias a las diatribas antitecnológicas de Heidegger, pero no fue tomada en serio sino a partir de 1966, cuando Melvin Kranzberg le dedicó un número especial de su revista *Technology and Culture*, que incluía mi tercer artículo sobre el tema.

Tu incorporación a la naciente comunidad de filósofos de la tecnología fue muy oportuna, porque la mayoría de los miembros de esa comunidad eran tecnófobos inspirados, ya en Heidegger, ya en la filosofía cristiana, de modo que residían en la margen derecha del ancho y lentísimo río de la filosofía. Además, tú provenías de un lugar inobjetable, Salamanca, donde Miguel de Unamuno había declarado sin empacho su desprecio por la innovación, con su lamentable “¡Que inventen otros!” Dicho sea de paso, el que tú, amante de la tecnología, seas tocayo y colega desfasado del otro Miguel, es un caso de justicia poética.

Tu trabajo en tecnofilosofía también es oportuno en que llega justo cuando se difunde el naturalismo ingenuo, que ignora que los seres humanos somos animales sociales, aun más sociales que otros, como las abejas melíferas y los gorilas, ya que no sólo convivimos con otros miembros de la misma especie, sino que casi

todo lo que hacemos está condicionado socialmente y, a su vez, modifica nuestro nicho social. Los naturalistas ingenuos de nuestro tiempo, como Noam Chomsky, David Buss, Steven Pinker y Jesús Mosterín siguen elaborando y predicando el evangelio de la naturaleza humana inmutable.

La psicología y la antropología sociales así como la historiografía muestran muy claramente que casi todo lo humano es biosocial antes que puramente biológico o puramente social. Por ejemplo, es cierto que la gana de hablar es instintiva, pero el aprendizaje de una lengua es un proceso social, que no ocurre si el bebé está aislado de otros niños o a cargo de niñeras que no se empeñan en enseñarle.

La tesis de Chomsky y sus seguidores, de que el habla es una “ventana al alma”, es doblemente falsa: porque el alma inmaterial es una fantasía teológica, y porque el habla es principalmente un medio de comunicación, y como tal un objeto de estudio de los psicólogos sociales y de los psicólogos del desarrollo, no de lingüistas especializados en sintaxis.

Dicho de otra manera, el habla (*la parole* de Saussure) no es un objeto natural a ser estudiado exclusivamente por biólogos, sino un artefacto biosocial, producido por organismos enculturados para facilitar las interacciones sociales. El lingüista científico no inventa algoritmos para producir enunciados aceptables, sino que estudia los artefactos que se han inventado para transmitir significados. En el curso de semejante estudio, redescubre lo que había hallado Jean Piaget hace casi un siglo: que los niños no se ajustan a las reglas gramaticales que se enseñan en la escuela, sino que aprenden algunas de éstas por imitación, e inventan otras cuando no las aprenden de otros. Tú lo sabes bien, porque, junto con Ana, pasasteis un tiempo con Piaget en su instituto ginebrino.

Se sabe que los niños suelen regularizar los verbos. Por ejemplo, un preescolar dirá *rompido* en lugar de *roto*, y *vaí* en lugar de *fui*. Nadie ha encontrado pruebas de que nacemos sabiendo la gramática universal imaginada por Chomsky. Lo que sí sabemos, por la observación de los escolares en las famosas escuelas nicaragüenses para sordos, es que los niños son capaces de inventar reglas gramaticales cuando las necesitan. ¿De qué otra manera se explican tanto la existencia de más de 6 000 lenguas en uso como de los cambios lingüísticos que acompañan a las migraciones e invasiones masivas, como la eliminación del género de los sustantivos que acompañó a la conquista normanda de Inglaterra? En suma, las lenguas son hechas y rehechas a medida de las necesidades de la comunicación y de las posibilidades técnicas, desde la escritura hasta la televisión.

Con toda razón, has mostrado que la comunicación por habla e imagen no se reduce a una trasmisión de información. En efecto, ninguno de los llamados me-

dios sociales que usamos en la actualidad funcionaría sin una red global de satélites artificiales, antenas y guías de onda instalada y supervisada por organizaciones internacionales de comunicación, publicidad y espionaje.

Pero volvamos a nuestros carneros, como diría un aldeano francés. Hace tres siglos el evangelio naturalista sirvió para difundir las cosmovisiones seculares y desacreditar las religiosas, pero hoy día se usa para consagrar la ideología neoliberal, conforme a la cual el “mercado” incontrolado, o sea, el paleo capitalismo que incrementa la desigualdad social y reemplaza la democracia por la plutocracia, sería natural y por lo tanto bueno.

(En su libro *The Blank Slate*, Pinker delinea lo que podría servir como manifiesto del *Tea Party*, del *Polo delle Libertà* de Berlusconi, o del grupo Trump, pero lo presenta como resultado de la nueva ciencia cognitiva.)

Además de analizar la tecnología, tú has subrayado su ambigüedad moral y social: el hecho de que, a diferencia de la matemática y la ciencia básica, la tecnología puede usarse, ya para bien, ya para mal. Por añadidura, tú, Miguel Ángel, has estado haciendo algo que ningún otro miembro de la comunidad tecnofilosófica ha intentado: has estado fabricando pequeños ingenios electrónicos, para comprender cómo trabaja el tecnólogo original, el que diseña nuevos artefactos a pedido del usuario, quien sólo menciona la función que debiera desempeñar el artefacto deseado. En suma, Miguel Ángel, tú haces tecnofilosofía de primera mano, en un ambiente en el que predominan los aficionados.

Prepárate a ser ninguneado. Pero sabe que también hay quienes te alguneamos: quienes seguimos pensando que la tecnología y la ciencia son los motores de la cultura intelectual preposmoderna, como hubiera dicho Bob Merton.

MARIO BUNGE
Departamento de Filosofía
Universidad McGill
Montreal, Canadá

PRÓLOGO A LA PRIMERA EDICIÓN

Hace años que el libro *Tecnología: Un enfoque filosófico* dejó de distribuirse por haber desaparecido la editorial que lo publicó por primera vez, tras haberle otorgado el premio Fundesco de Ensayo (Fundación para el Desarrollo Económico y Social de las Comunicaciones) del año 1989. A pesar del tiempo transcurrido, el libro no ha perdido actualidad y son muchos los colegas y estudiantes que me piden cada año copias del mismo. Uno de estos colegas, el profesor León Olivé, tuvo la amabilidad y la paciencia suficiente para conseguir que finalmente me animara a revisar el viejo libro y a preparar una nueva edición. El resultado es lo que el lector tiene ahora en sus manos. No se trata en modo alguno de una simple reimpresión del libro original, sino en cierto modo de una doble obra que contiene, en la primera parte, el libro original con algunas correcciones y modificaciones que explicaré y, en la segunda parte, varios capítulos nuevos que he agrupado como “Otros ensayos de filosofía de la tecnología”.

La primera parte es, en efecto, una edición revisada del libro original. La modificación más importante consiste en que, siguiendo los sabios consejos de los actuales editores, suprimí los formalismos de los capítulos III y IV para hacer más ligera la lectura, remitiéndolos a un anexo que figura al final de esta primera parte. Algunas otras aclaraciones o correcciones que me ha parecido conveniente introducir aparecen siempre señaladas en notas al pie de la página que, para distinguirlas de las de la edición original, terminan con la marca [MAQ: 2005].

La segunda parte se inicia con el capítulo “Veinte años después”. En él explico cómo surgió el programa de investigación en filosofía de la tecnología que dio lugar al libro y cómo ha ido evolucionando aquel programa a lo largo de estos años. Aprovecho además esta revisión para contestar algunas críticas o aclarar malentendidos que otros colegas expresaron en diversas ocasiones. Este capítulo fue publicado inicialmente por la Fundación Juan March en una serie dedicada a revisar la filosofía contemporánea en España.

El capítulo que le sigue, “La construcción del futuro”, fue redactado en principio para el catálogo de El pabellón de los Descubrimientos, previsto en la Exposición Universal de Sevilla de 1992. Pero el pabellón fue destruido por un incendio poco antes de inaugurarse, y el catálogo nunca se llegó a publicar. Me ha parecido

conveniente recuperar ese texto, aunque ya había sido incluido en la antología *Nuevas meditaciones de la técnica*, editada por Fernando Broncano. En él resalta una idea básica de mi filosofía de la tecnología: la de que el mundo que queramos construir no depende tanto de lo que hagamos con las tecnologías que tenemos disponibles, de lo que podamos hacer ahora, cuanto de las decisiones que tomemos ahora respecto a qué tipo de tecnologías queremos tener en el futuro, respecto a qué queremos poder hacer.

“La tecnología como paradigma de acción racional” es un texto originalmente publicado por la *Revista de Occidente* y reeditado en varias ocasiones. Su origen fue mi aportación a un seminario organizado por el Instituto de Filosofía del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) (Madrid) en torno a la obra *Desde la perplejidad* (1990), de Javier Muguerza. Pretendo en esas páginas retornar a un viejo asunto sobre el que los escritos de Muguerza me han hecho volver una y otra vez: el problema, podríamos decir, de caracterizar la racionalidad práctica. Mi propuesta es que tomemos como modelo de la acción racional no el comportamiento del *homo œconomicus*, como suele darse por sentado que hay que hacer, sino el del *homo technologicus*, si se nos permite decirlo así. Es un viejo *leitmotiv* o pecado de juventud que cometí en obras anteriores y que Javier Muguerza me repriminó en varias ocasiones con niveles disparejos de paciencia y comprensión. Mi obstinación en el pecado no es caprichosa: al incluir aquí ese texto espero que el resto de la obra sirva para fortalecer los argumentos que en él se apuntan y dejarlo así mejor pertrechado para aguantar los próximos embates de mis amigos.

Uno de esos baluartes es el capítulo siguiente, dedicado a dilucidar el concepto de “racionalidad instrumental”. En él se revisan, amplían y clarifican algunos conceptos básicos de la axiología de la técnica, presentes ya en la primera parte, como es el concepto de eficiencia, y de la teoría general de la acción racional, como el concepto de adecuación de medios a fines. El texto indaga en estos temas en diálogo con la praxiología de Kotarbinski y con la teoría de la acción de Mario Bunge.

“Una ética para el desarrollo tecnológico” cierra este bloque de ensayos en el límite entre la filosofía de la tecnología y la filosofía moral. La tesis principal de este capítulo es que debemos pertrecharnos de una ética adecuada para dar respuesta a los retos morales más importantes de nuestra época, los referidos en “La construcción del futuro”, que vimos en el capítulo VIII de esta parte.

Los cuatro ensayos restantes giran en torno a otros dos temas que me han interesado de modo especial en los últimos años: la innovación y la cultura tecnológicas.

Empieza el grupo con el capítulo “Tipos de conocimiento tecnológico y gestión de la innovación”, en el que se sistematizan las ideas de la primera parte sobre las clases de conocimiento técnico y se indican algunas consecuencias que se pueden extraer de esa clasificación para entender diferentes modelos de gestión del conocimiento y la tecnología por parte de las empresas.

En “Cultura tecnológica e innovación” se presenta un modelo de análisis de la cultura tecnológica y de los factores culturales que pueden incidir en los procesos de innovación empresarial.

“Educación y cultura tecnológica” reivindica la necesidad de poner la cultura tecnológica en el centro de los programas educativos en las sociedades plurales y avanzadas de nuestros días. En origen fue mi intervención en la ponencia de clausura del IV Congreso Nacional de Pedagogía, celebrado en Salamanca (España, 1994), que giraba en torno a la educación en una sociedad multicultural.

Por último, el texto “Integración cultural e innovación técnica: una lección de la historia de España en la Edad Moderna” es una pieza de *divertimento*, en la que el autor se permite, aprovechando el ambiente relajado de una cena junto a las murallas de Ávila, repasar los añejos argumentos acerca de la historia de la ciencia y de la cultura hispana para recordar que no hay verdadero y sano desarrollo tecnológico sin una adecuada integración de la tecnología en el resto de la cultura, lo cual resulta difícil de llevar a cabo si no es en un ambiente en el que se respete la libertad, se valore el trabajo bien hecho y se incentive la creatividad. Y sinceramente creo que todas estas cosas les faltaron a los españoles durante siglos.

MIGUEL ÁNGEL QUINTANILLA
Zapardiel, 1º de abril de 2005

PRIMERA PARTE

TECNOLOGÍA: UN ENFOQUE FILOSÓFICO

PREFACIO

El propósito de este libro es desarrollar un marco teórico (es decir, una teoría de carácter general) acerca de la tecnología y del desarrollo tecnológico. Es, pues, un libro de filosofía de la técnica en sentido estricto y no un ensayo sobre cuestiones morales, políticas o ideológicas relacionadas con las tecnologías industriales. La importancia de éstas en nuestro tiempo es tan evidente que no se necesita justificar las múltiples preocupaciones e inquietudes intelectuales que suscitan. Pero me parece que la obligación de un filósofo es proponer ideas generales que puedan ayudar a otros a entender y aclarar sus propios conceptos sobre aspectos particulares de los fenómenos que estudian. En el caso concreto de las nuevas tecnologías, características de lo que muchos sociólogos y economistas llaman la sociedad de la información, la contribución del filósofo resulta tanto más urgente y necesaria cuanto si se contrasta la novedad de los cambios que a partir de ellas se están produciendo —y la extensión e intensidad de sus repercusiones sociales— con el escaso desarrollo teórico de los conceptos más elementales que utilizamos para afrontarlos. Piénsese, por ejemplo, que ideas como progreso tecnológico, eficiencia técnica, artefacto, sistema técnico-industrial, racionalidad instrumental, impacto social de las tecnologías, etc., son tan importantes para entender las características de la tecnología actual como pueden ser los conceptos de teoría, experimento, observación, verdad, progreso científico, para entender la ciencia moderna. Pero mientras la epistemología ha avanzado en las últimas décadas de forma que, a pesar de las inevitables —y deseables— controversias filosóficas, hoy existe un formidable utillaje conceptual para afrontar la reflexión acerca de la ciencia, en el caso de la filosofía de la técnica todavía tenemos que plantearnos continuamente el propio repertorio de problemas que se consideran dignos de reflexión e interés filosófico o intelectual.

La idea que inspira este libro es precisamente que en filosofía de la técnica podemos progresar (es decir, podemos avanzar en la comprensión de la naturaleza y el valor de la técnica para la humanidad) si seguimos una estrategia parecida a la que muchos filósofos de la ciencia han seguido desde hace tiempo: por una parte, utilizar métodos rigurosos y precisos para analizar los problemas y reconstruir los conceptos filosóficos que están presentes de forma intuitiva en la activi-

dad científica; por otra parte, tomar como material de trabajo problemas reales planteados en la práctica de la investigación científica, y no viejos problemas escolásticos irrelevantes.

En el caso de la filosofía de la técnica, esta estrategia se traduce en algunas reglas concretas. La primera es que no deberíamos pretender aclarar de golpe todos los problemas que el desarrollo tecnológico plantea a la humanidad en nuestro tiempo, porque, si no tenemos cuidado en precisar previamente de qué estamos hablando, lo que vamos a producir es mayor confusión. Por ejemplo, no deberíamos caer en la tentación de buscar al “culpable de los males de nuestra época” en la moderna tecnología industrial sin esforzarnos por aclarar previamente qué tipo de causalidad rige en los fenómenos sociales complejos. O, por ejemplo también, no deberíamos perder mucho tiempo en discutir acerca de “tecnologías alternativas” si no nos preocupamos previamente de aclarar qué es exactamente una alternativa tecnológica.

La segunda regla que se debe seguir consiste en tomar como objeto de la reflexión del filósofo no —una vez más— viejas ideas o prejuicios acerca de la esencia y la existencia, sino problemas reales de la tecnología actual. Una filosofía de la técnica que sólo sirva para entender la naturaleza del *homo faber* de las cavernas, pero no al hombre de las fábricas del siglo XXI, está condenada a la inanidad. Esto quiere decir que el interés de las nuevas tecnologías o de los grandes complejos tecnindustriales para el filósofo no puede ser anecdótico sino primordial: no son nuevas realizaciones o quizá deformaciones de un modelo eterno, sino fenómenos completamente originales con una significación propia. Si lo que nos interesa de la técnica es el poder de transformación del medio que confiere al hombre, el paradigma de ese poder son los modernos complejos tecnológicos o las nuevas tecnologías que afectan a la propia esfera de la actividad intelectual humana, no desde luego el hacha de sílex.

Desde esta perspectiva está escrito el presente libro. La idea más original que en él se expone consiste en identificar las técnicas con sistemas de acciones y en intentar aclarar, a partir de ella, los problemas más importantes que se plantean en la filosofía de la técnica.

El capítulo I es introductorio. En él describo las características más sobresalientes de la tecnología actual y el tipo de problemas filosóficos que plantea, y termino declarando el marco de ideas que me servirá como referencia en el conjunto del libro.

En el capítulo II se expone en lenguaje intuitivo el concepto de técnica que vamos a utilizar en el libro, distinguiendo la técnica del arte y de otras formas de

actividad humana, y discutiendo las relaciones entre técnica y conocimiento, técnica y sociedad, así como las características del desarrollo de la tecnología actual.

El capítulo III está dedicado a exponer los conceptos básicos de la ontología de la técnica: desde la noción de sistema, acontecimiento y acción, hasta la noción de artefacto. Esto nos permite, en el capítulo IV, definir la estructura de los sistemas técnicos y aclarar nociones básicas como la de composición de técnicas, complejidad técnica, usos y aplicaciones técnicas, etc. Además propongo un conjunto de criterios rigurosos para la clasificación de las técnicas y explico la importancia de las máquinas para entender la estructura de las tecnologías complejas.

El capítulo V está dedicado a cuestiones de epistemología y axiología de la técnica. Por una parte explico la “lógica” del diseño y del descubrimiento tecnológico utilizando como modelo los sistemas de inteligencia artificial y, por otra parte, propongo una definición de eficiencia técnica que me parece central para entender la relación entre el criterio fundamental de evaluación de la técnica y la idea de progreso tecnológico como aumento de la capacidad humana de controlar la realidad.

El último capítulo está dedicado a los criterios de evaluación externa o social de las tecnologías: evaluación de idoneidad (tecnologías apropiadas) y evaluación de consecuencias o de impacto (análisis de riesgos, de impacto ambiental y de impacto social). El capítulo empieza explicando la estructura de los programas de investigación y desarrollo tecnológico como marco de las operaciones de evaluación social, y termina planteando los problemas políticos que ésta conlleva.

Este libro, como todos los libros, no habría sido posible sin la colaboración y ayuda de muchos amigos y sin la influencia de otros filósofos cuyas huellas no será difícil descubrir a lo largo de sus páginas. Especialmente ha sido importante para mí, como podrá comprobarse, la filosofía de Mario Bunge. Pero debo hacer referencia también al grupo de filósofos y científicos que durante los dos últimos años hemos venido reuniéndonos para poner en marcha en España un programa sistemático de filosofía de la técnica. Estas reuniones han sido posibles gracias al Consejo Superior de Investigaciones Científicas y a la Fundación para el Desarrollo Económico y Social de las Comunicaciones. (Véase el cap. VII en la segunda parte de la presente edición [MAQ: 2005].)

MIGUEL ÁNGEL QUINTANILLA
Mozárbez, 12 de octubre de 1988

I. PROBLEMAS FILOSÓFICOS DE LA TECNOLOGÍA

LA TÉCNICA siempre ha merecido la atención de los filósofos en sus reflexiones acerca de la acción humana; pero sólo en las últimas décadas se ha ido configurando la filosofía de la técnica como una especialidad académica de importancia creciente.¹ Tradicionalmente la relevancia filosófica de la técnica se circunscribía al problema de *cómo podemos transformar* la realidad, cuestión esta aparentemente secundaria si se compara con otros problemas filosóficamente más interesantes, y que sólo recientemente ha merecido un tratamiento sistemático.² Sin embargo, en nuestros días la técnica afecta todos los aspectos de la vida humana y los más genuinos problemas de toda la historia de la filosofía (cómo es la realidad, cómo la conocemos, qué debemos hacer) están condicionados por la influencia de la técnica sobre la configuración de la realidad en que vivimos, sobre la ciencia y sobre la moral. Ello se debe a las transformaciones que ha ido experimentando la técnica a lo largo de la historia y a la trascendencia que ha llegado a tener en las sociedades actuales.

1. DE LA TÉCNICA A LA TECNOLOGÍA INDUSTRIAL

Herramientas, máquinas y planes racionales de acción han existido en las sociedades humanas desde hace milenios. Los antropólogos usan como criterio de identificación de fósiles pertenecientes a la especie *homo* la capacidad para fabricar y usar instrumentos. El *homo sapiens* se identifica a partir del *homo faber*. La historia de las civilizaciones es la historia de sus técnicas, y en las más antiguas encontramos la presencia de grandes realizaciones técnicas relacionadas con la agricultura, la caza, la ganadería, el transporte, la guerra y el control de la organización social. Los periodos de la prehistoria se identifican por grandes transfor-

¹ Para una visión panorámica de las investigaciones en filosofía de la técnica de las tres últimas décadas, véase Skolimowski (1968) y Rapp (1982). Mitcham y Mackey (1973) proporcionan la información bibliográfica más completa en la fecha de su publicación, y la revista *Technology and Culture* ofrece revisiones actualizadas de las aportaciones más recientes en este campo.

² Kotarbinski (1965).

maciones técnicas relacionadas con la fundición y aleación de metales, y la aparición de las técnicas de escritura se usa convencionalmente para señalar el comienzo de la historia propiamente dicha. Desde muy antiguo han existido máquinas en el sentido que hoy damos a este término, como dispositivos capaces de transformar una fuerza de determinada naturaleza para realizar un trabajo útil de carácter mecánico.³ Incluso han existido desde la Antigüedad tratados teóricos acerca de la construcción y el funcionamiento de dispositivos mecánicos (lo que llamaríamos hoy teorías tecnológicas).⁴ Así pues, no sólo las técnicas primitivas supuestamente relacionadas con la supervivencia, sino también complejas técnicas artesanales y teorías abstractas de carácter tecnológico son componentes muy primitivos de la experiencia y la cultura humanas.

Sin embargo, lo que hoy entendemos por tecnología, y el papel que la técnica desempeña en las sociedades de nuestros días, es algo radicalmente diferente a lo que supuso en épocas anteriores. El origen de la tecnología actual hay que buscarlo en la Revolución Industrial de los siglos XVIII y XIX.⁵ En ese entonces se produjeron los cambios más decisivos para explicar la posterior evolución de la técnica: el sistema de producción de bienes materiales se vio alterado por la sustitución generalizada de las herramientas artesanales por las máquinas, la introducción de una nueva fuente de energía utilizable para el trabajo mecánico, la máquina de vapor, que permitió independizar el proceso de producción industrial de la disponibilidad de fuentes de energía tradicionales (el viento, el agua, la fuerza muscular), y la organización de la producción en factorías o manufacturas.⁶

En su origen el trabajo en las manufacturas inglesas era del mismo tipo que el trabajo artesanal que desde hacía centenares de años se había ido desarrollando en pequeños talleres o en unidades de producción de carácter familiar. De manera que en un principio la Revolución Industrial no supuso una innovación radical de carácter tecnológico, salvo en el aspecto exclusivo de la organización social del trabajo. Pero supuso un cambio de perspectiva en la “lógica” del sistema productivo, si se nos permite decirlo así, que tuvo consecuencias decisivas para el desarrollo de nuevas técnicas, nuevos instrumentos y nuevas máquinas; pero sobre todo para acelerar el *ritmo del cambio* tecnológico y para *generalizar la incidencia de las innovaciones técnicas* en toda la organización social.

³ La definición de máquina que ofrece Reuleaux (1875) se ha convertido en clásica: “Una máquina es una combinación de partes sólidas dispuestas de tal forma que por medio de ellas se pueda hacer que las fuerzas naturales produzcan movimientos de un tipo determinado”.

⁴ M. Medina (1985).

⁵ Braun (1986).

⁶ Forbes (1958), p. 150.

La nueva “lógica de la producción” radica en la separación del capital y el trabajo, y en el sometimiento consiguiente de todo el proceso productivo al principio de maximización del beneficio en un mercado competitivo. La disponibilidad de capital y la autonomía del capitalista para invertirlo hacen posible que se incorporen a la producción innovaciones técnicas cuyo origen puede haber sido completamente ajeno al proceso productivo. Y el hecho de que tales innovaciones consigan un aumento de la productividad del trabajo hace que, en el sistema capitalista, su incorporación a la producción sea, en la práctica, una obligación irresistible para el capitalista. Así es como el desarrollo de la minería o de las manufacturas textiles propició la incorporación al proceso productivo de máquinas (bombas, telares, etc.) movidas por ruedas hidráulicas y pronto hizo necesario disponer de fuentes de energía baratas y fácilmente utilizables en cualquier lugar. Surgió con ello una demanda potencial de máquinas como la de Newcomen (1712) capaces de utilizar el calor y la presión atmosférica para producir energía mecánica útil para un propósito determinado (extraer agua de las minas, mover los telares mecánicos), lo que a su vez produjo cierta ventaja competitiva a las factorías que disponían de ella y una posible línea de desarrollo de nuevos dispositivos capaces de mejorar su eficiencia y con ello de nuevo su competitividad.

Una innovación artesanal en un sistema productivo preindustrial podía dar cierta ventaja a su poseedor, pero su existencia estaba vinculada a su usuario y el proceso de su difusión era semejante al de la propia tradición artesanal en que tenía lugar la innovación: se transmitía de padres a hijos, o de maestros a aprendices de una forma lenta y a veces en ámbitos de difusión geográfica bien localizados. En el sistema de producción industrial capitalista, la tecnología como factor de producción es asunto del capital y éste se rige por la ley del máximo beneficio. De manera que el aumento en la eficiencia de una máquina se traduce inmediatamente en aumento de productividad, y con ello lo que antes podía considerarse tan sólo como un logro esporádico, una curiosidad intelectual o un instrumento específico que daba ventaja a su poseedor en una coyuntura determinada (las máquinas bélicas, por ejemplo), se transforma ahora en un factor decisivo para la dinamización de todo el sistema productivo y con ello de toda la vida social.

Así pues, con la Revolución Industrial y el capitalismo el cambio tecnológico se ve sometido a una presión que acelera su ritmo y aumenta su difusión de forma al parecer imparable. Con ello entramos en una nueva era de la civilización y con ello aparece una dimensión esencial de la tecnología que, a pesar de las líneas

de continuidad y las analogías, supone una fuerte ruptura con la actividad técnica preindustrial. No es, pues, casual que las primeras reflexiones filosóficas en torno a la técnica sean de pensadores que, como Marx, se preocuparon por los grandes problemas sociales surgidos de la revolución industrial capitalista.⁷

Sin embargo, la importancia de la técnica en el sistema productivo del capitalismo no justificaría por sí sola el creciente interés filosófico por el fenómeno técnico. Si acaso explicaría un tipo de reflexión específicamente orientado a problemas morales, políticos y sociales. Pero hay otras características de la tecnología industrial que justifican un interés filosófico más general.

A lo largo del siglo xx la tecnología industrial ha evolucionado en relación cada vez más estrecha con el desarrollo del conocimiento científico. Esto ha tenido consecuencias importantes. Por una parte la ciencia se ha instalado, incluso institucionalmente, en las empresas de producción industrial, y eso ha hecho que cambie profundamente la organización de la investigación, y en cierto modo la naturaleza del conocimiento científico y de los problemas filosóficos que plantea su desarrollo. Por otra parte, la propia innovación técnica adquiere un papel motor de la actividad económica en la medida en que, cada vez más, se producen procesos de innovación industrial *empujados* por la innovación técnica, en vez de tan sólo procesos de innovación técnica *reclamados* por la necesidad de renovación industrial. Al estar la innovación tecnológica directamente relacionada con la investigación científica aparece en el seno mismo del sistema productivo un factor de dinamización interna que se impone incluso a las exigencias “naturales” del mercado, abriendo posibilidades de aumento de la competitividad más allá de lo exigido por la situación dada.

Este factor de industrialización de la ciencia y la técnica es decisivo para entender las dimensiones que en las sociedades de nuestros días adquiere el fenómeno técnico. No se trata tan sólo de que en torno a él se planteen problemas de carácter moral, económico o político, sino que aparecen también problemas relativos a nuestro conocimiento del mundo, a la forma en que las exigencias técnicas condicionan, potencian o retrasan nuestras empresas intelectuales más característicamente humanas.

Hay algo más: se ha dicho que en el entorno físico de una sociedad industrialmente avanzada no existe ya nada natural: la vida cotidiana de los individuos

⁷ Las ideas, hoy bastante extendidas, respecto a la función de las máquinas y, en general de la ciencia y la tecnología, en la producción industrial y sus efectos sobre las relaciones sociales, están expresadas con llamativa clarividencia en los borradores de *El capital* que Marx preparó entre 1857 y 1858: Marx (1972), vol. II, pp. 216 y ss.

se desarrolla rodeada de artefactos, el paisaje es producto de diseños urbanísticos y hasta los parques naturales se conservan gracias a costosos procesos de intervención tecnológica en los que cooperan biólogos e ingenieros. Es también éste, sin duda, uno de los aspectos relevantes de la sociedad que hemos construido a partir de la Revolución Industrial. Y es también un dato significativo para explicar el papel crecientemente central de la técnica como objeto de reflexión filosófica: no es sólo nuestro conocimiento de la realidad o nuestra forma de comportarnos ante ella, sino la sustancia misma de la realidad que nos circunda la que es intrínsecamente tecnológica o artificial. La teoría filosófica de la realidad no puede ya pasar por alto la teoría de lo artificial.

2. LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS

La Revolución Industrial del siglo XIX abrió las puertas a una nueva etapa de la civilización. A partir de entonces la tecnología ha invadido todos los rincones de la vida humana. Sin embargo, para apreciar en su justa dimensión lo que esto significa en la actualidad hay que abandonar la asociación del concepto de tecnología con el de producción industrial de artefactos mecánicos. Los avances científicos del siglo XX y sus repercusiones en el diseño y desarrollo de nuevas tecnologías han hecho cambiar por completo, en pocos años, el panorama de la tecnología actual. Por una parte, se han creado nuevas fuentes de energía que alteran por completo el repertorio de fórmulas disponibles para el desarrollo de energías mecánicas. La enorme potencialidad de la energía nuclear hace palidecer cualquier sueño respecto a las posibilidades de transformar la realidad. La síntesis de nuevos materiales con propiedades insospechadas (semiconductores, superconductores, cerámicas) altera por completo el elenco de los componentes disponibles para realizar nuevos artefactos. La tecnología láser permite utilizar la luz como fuente de energía no sólo extraordinariamente potente, si se desea, sino también insospechadamente versátil y adaptable tanto a trabajos de tipo mecánico como a funciones de comunicación o de procesamiento de información. La biotecnología permite por primera vez la producción de organismos vivos con características predefinidas y siguiendo procesos enteramente artificiales (más rápidos, y posiblemente más eficientes que las viejas técnicas de selección genética). La electrónica digital, la informática y las tecnologías de las telecomunicaciones suponen por último la aparición de un nuevo ámbito de desarrollo tecnológico que trasciende al sector tradicional de la producción de bienes materiales para

invadir el terreno del procesamiento, almacenamiento, producción y transmisión de información.⁸

Este conglomerado de nuevas tecnologías, con su implacable invasión de todos los ámbitos de la vida humana, supone una configuración de la técnica completamente nueva en la historia de la humanidad. Nunca como hasta ahora había estado la sociedad en su conjunto tan articulada en torno a la actividad tecnológica, y nunca la tecnología había tenido tan fuertes repercusiones sobre la estructura social, y en especial sobre la estructura cultural de una sociedad.

3. TECNOLOGÍA Y CULTURA

Podemos entender por cultura el conjunto de creencias, ideas, valores, reglas y pautas de comportamiento que caracterizan a una sociedad. En este sentido, la interacción de técnica y cultura ha sido constante a lo largo de la historia de la humanidad:⁹ las técnicas aparecen y se desarrollan en un determinado ámbito cultural y contribuyen, a su vez, a configurar la cultura de la sociedad. Lo específico de la tecnología actual es el tipo de cultura que demanda y la intensidad con que influye en el cambio cultural.

Hay en concreto dos tipos de valores culturales demandados por la tecnología actual: por una parte, el conocimiento científico, por otra, determinado tipo de valores morales de carácter racional.¹⁰

Las relaciones entre técnica y ciencia son complejas¹¹ y tendremos ocasión de volver sobre este tema a lo largo del libro. Por el momento señalemos tan sólo dos notas, ambas igualmente relevantes: 1) el desarrollo de las tecnologías actuales depende enteramente del desarrollo del conocimiento científico; 2) el avance del conocimiento científico está profundamente condicionado por el desarrollo tecnológico. Como ocurre en las relaciones entre productores y consumidores, la tecnología es el principal demandante de conocimiento científico y, en esa medida, condiciona la oferta científica (la dirección de la investigación científica).

⁸ Castells *et al.* (1986). La documentación acerca de las repercusiones sociales de las nuevas tecnologías, y en especial de las tecnologías de la información, es muy abundante y heterogénea: UNESCO (1982) sigue teniendo actualidad y valor informativo sobre las repercusiones sociales de la revolución científica y tecnológica. En el campo concreto de la informática, véase Kalbhen *et al.* (1983), Castilla *et al.* (comps.) (1986), así como el informe de la OIT (1987), centrado principalmente en las repercusiones de la informática sobre el empleo.

⁹ Margolis (1978).

¹⁰ Este apartado y el siguiente son adaptaciones de trabajos anteriores del autor: Quintanilla (1984) y (1986).

¹¹ Véase la discusión de Rabi (1965) y Brooks (1965).

Algo parecido sucede en relación con los valores morales.¹² Hay un esquema ingenuo de las relaciones entre técnica y valores morales según el cual la técnica es neutra y es la sociedad, o los individuos, quienes utilizan una técnica u otra al servicio de unos objetivos cuya valoración moral es ajena a la técnica utilizada. Esto es sólo la mitad de la verdad.¹³ La realidad es algo diferente. En primer lugar, porque el desarrollo de la técnica exige la vigencia de determinados valores en la sociedad, como el valor de la eficacia, de la racionalidad económica, el ideal de la coherencia en los sistemas de preferencias y en general alguna forma de moralidad racionalmente aceptable. Por otra parte, el propio proceso de innovación tecnológica, al ampliar el campo de lo posible y lo realizable, altera los contenidos de los sistemas de preferencias, demanda nuevos valores y los hace cristalizar. Un ejemplo notable por sus repercusiones sociales es el desarrollo de las técnicas de control de la natalidad que ha acabado con algunos de los prejuicios morales más arraigados en nuestra sociedad, o las tecnologías de fecundación *in vitro* que obligan a cambiar los códigos jurídicos para dar cabida en ellos a situaciones inconcebibles hace sólo unos años para las que no existen aún en la sociedad pautas de valoración moral.¹⁴ Pero lo mismo ocurre en relación con tecnologías de carácter físico, ecológico, o social: ¿cuáles son los valores que deben guiarnos en relación con situaciones bélicas cuando el potencial tecnológico de destrucción es total a escala planetaria? ¿De qué forma se ve afectada nuestra valoración de la naturaleza como objeto de dominio humano, una vez que la capacidad de dominio (y de destrucción) llega a los límites que nos permiten las tecnologías actuales?¹⁵ ¿Cómo se ve alterada nuestra valoración de las decisiones políticas ante la evidencia de que existen soluciones técnicas bastante bien definidas para muchos de los problemas generados por la convivencia social?

En definitiva, pues, la tecnología actual tiene efectos decisivos en los componentes más peculiares de nuestra cultura: nuestros sistemas de conocimientos, nuestras pautas de comportamiento y nuestros sistemas de valores. Y ello no de una forma esporádica y accidental, sino de manera sistemática, continua, intensa y general.

¹² Boulding (1977), Durbin (1972).

¹³ Pero es un componente importante del "mito de la ciencia" (Quintanilla, 1976) de ascendencia positivista.

¹⁴ El problema se está afrontando en los últimos años con diferente fortuna. En España la regulación legal de algunas de las actuales posibilidades de la tecnología biológica acaba de ser aprobada por el parlamento [año 1988]. El proyecto de ley se ha apoyado en un informe previo elaborado en la legislatura anterior: Palacios (comp.) (1987).

¹⁵ Domenech (1986).

Existe sin embargo la idea de que el tipo de cultura que promueve el desarrollo tecnológico es deshumanizador y alienante. Muchos filósofos piensan en concreto que la tecnología actual nos lleva a una situación cultural en la que la única forma de expresión de la libertad y de los valores e ideas más característicamente humanos es la que se pueda manifestar a través de las diversas formas de la contracultura.¹⁶ Este temor, presente en muchas reflexiones sobre la técnica, tiene sus raíces en una idea más profunda, pero equivocada, acerca del poder de la técnica y acerca de la naturaleza del conocimiento científico promovido por la innovación técnica.

En efecto, está muy extendida la idea de que la técnica moderna es omnipotente, no tiene límites, de la misma manera que se piensa que el conocimiento científico es definitivo e infalible. Pero ambas ideas son falsas.¹⁷ En primer lugar, los sistemas tecnológicos, como las propias teorías científicas en que se apoyan o que promueven, son sistemas en desarrollo, nunca están completos o, dicho de otra manera, nunca es posible controlar completamente todas las variables que intervienen en el sistema. En segundo lugar, gracias precisamente al desarrollo de los sistemas tecnológicos y del conocimiento científico, hemos aprendido que las consecuencias de una acción son múltiples y que la evaluación de una tecnología es una compleja cuestión que sólo a la luz de nuevos conocimientos y nuevos desarrollos tecnológicos podemos ir precisando poco a poco. A la postre, toda tecnología mala termina revelándose como una mala tecnología y todo problema surgido como resultado de una tecnología se resuelve desarrollando una tecnología mejor.

La lógica del desarrollo tecnológico impone de hecho una continua ampliación de la perspectiva, hasta el punto de que cada vez hay menos problemas tecnológicos limitados y, cada vez más, cualquier problema tecnológico tiene un carácter global. Estas exigencias internas del desarrollo tecnológico tienen también repercusiones culturales importantes. Sirven, por ejemplo, para promover investigaciones interdisciplinarias o para relativizar y contextualizar los valores sociales, para rechazar los dogmas y los deberes morales absolutos, para desacreditar las decisiones irracionales y para prevenirnos de iniciar acciones con grandes repercusiones sociales sin dotarnos de sistemas de control y de seguimiento. Todo ello supone, en efecto, grandes transformaciones culturales, pero de un tipo que no encuentro razones para que haya que considerarlas opuestas a la dignidad del hombre. Por el contrario, me parece que las demandas culturales así entendi-

¹⁶ Marcuse (1968).

¹⁷ Quintanilla (1980a).

das están en la misma línea del ideal de la libertad y la racionalidad inherente a la mejor tradición de la cultura occidental.

Otro tanto puede decirse del tipo de conocimiento científico exigido por el desarrollo tecnológico. Es cierto que el valor fundamental del conocimiento técnico no es la verdad, sino la utilidad o la eficiencia, y que en este sentido supeditar la ciencia a la técnica podría llevarnos a un estancamiento de la tradición científica culturalmente más apreciada.¹⁸ Pero aunque la técnica no siempre necesita conocimientos profundos y precisos, cada vez necesita más de la ciencia, en todas sus dimensiones, como caldo de cultivo para la innovación. Si hubiera que resumir en una sola expresión el valor cultural de la técnica de nuestros días, habría que decir que ante todo la tecnología promueve todos los valores relacionados con la *innovación racional*.

4. EL OCIO Y LA TÉCNICA

Hasta ahora hemos hablado de tecnologías industriales, de la técnica como un factor de producción, como un medio de transformación de la realidad material y de construcción de artefactos, de entidades nuevas, de carácter también material. La técnica, pues, como algo perteneciente al ámbito del “negocio”, de la producción material, cuya influencia sobre el ámbito de lo espiritual, de la creación desinteresada, de la cultura o del “ocio” se lleva a cabo a través de la promoción del conocimiento y de la renovación de los valores sociales. Pero una de las características de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación es precisamente su capacidad para subvertir incluso el sentido mismo de la distinción entre producción y cultura. Es éste un fenómeno que una filosofía de la técnica a la altura de nuestro tiempo no puede pasar por alto.

De acuerdo con los teóricos de la revolución científico-técnica,¹⁹ una de las contribuciones más importantes de la moderna tecnología a la sociedad consiste precisamente en liberar tiempo de trabajo productivo y aumentar el tiempo de ocio.²⁰ En esa medida cabe suponer y esperar que la tecnología contribuya también al desarrollo y difusión de la cultura.

¹⁸ Bunge (1983), Skolimowski (1970).

¹⁹ Richta (1969), Gvishiani (1982).

²⁰ La idea se encuentra en los borradores de Marx (1972, p. 229), quien veía en ello una contradicción insuperable del régimen capitalista de producción. En realidad, hay que decir que lo peculiar de la moderna tecnología es la *magnitud* y la *intensidad* de su contribución a la liberación de tiempo de trabajo necesario: algo que, en un grado u otro, caracteriza sin embargo a todas las técnicas, como muy bien supo resaltar Ortega (1939).

Sin embargo, la cosa no para aquí. Lo que es específico de las nuevas tecnologías y en especial de las tecnologías de la información es, por una parte, que han invadido el ámbito del ocio y, por otra, que han hecho que el ocio sea productivo. Si se me permite el juego de palabras: la técnica ha transformado el negocio en ocio y el ocio en negocio.

Esta subversión de las relaciones entre la producción y la cultura tiene sus precedentes también en la Revolución Industrial. Actividades típicamente culturales, no productivas, como la actividad de la imaginación estética, el diseño de modelos, la investigación científica, hace tiempo que se incorporaron a la producción. Y por otra parte, el desarrollo de los instrumentos técnicos ha transformado algunas actividades productivas en actividades ociosas, en aficiones o *hobbies*.

Pero hay a este respecto un cambio más profundo que sólo se ha materializado con la difusión de las tecnologías de la información. La información es, en cierto modo, un producto “espiritual”, inmaterial; al menos en el sentido de que una misma información puede darse en soportes materiales diferentes. Hasta muy recientemente las tecnologías relacionadas con la información no tenían otro objeto que el de proporcionar diferentes soportes materiales para transmitir, almacenar o reproducir información. Naturalmente, estas tecnologías “clásicas” ya comportan una influencia decisiva en la configuración de esa información a través de mecanismos como los expuestos en el apartado anterior: al abrir nuevas posibilidades expresivas y comunicativas promueven nuevos géneros, estilos y tipos de información. El cine, el videoclip, el cómic, son géneros de expresión artística promovidos por innovaciones técnicas. Sin embargo, las nuevas tecnologías de la información basadas en la informática hacen algo más. En primer lugar, no se limitan a almacenar, transmitir o reproducir información. Además de todo eso *procesan* la información. En segundo lugar, el procesamiento de la información permite al usuario de las tecnologías informáticas crear *nuevos tipos de información*. Por último, la tecnología informática *genera nueva información*. Estas afirmaciones pueden parecer exageradas, y requieren alguna precisión.

Pensemos en la naturaleza de un programa de ordenador. Físicamente no es más que un conjunto de marcas magnéticas, eléctricas o mecánicas depositadas en un soporte adecuado (una cinta, un disco magnético u óptico o un circuito electrónico). Culturalmente es una entidad conceptual, concretamente un algoritmo, una “entidad” lingüística o matemática. Suele decirse, desde luego, que en cuanto objeto cultural un programa es siempre un producto de la mente humana, no del artefacto tecnológico al que se aplica. Lo cual es cierto. Pero hay algo

más: en primer lugar, con los programas de ordenador se pueden realizar operaciones intelectuales que la mente humana por sí sola no puede hacer. Ningún ser humano es capaz de realizar en un tiempo adecuado todos los cálculos que se precisan para hacer predicciones meteorológicas a partir de los miles de datos proporcionados por el sistema mundial de observación atmosférica. Nadie había sido capaz, sin utilizar ordenadores, de demostrar el teorema matemático de los cuatro colores, y nadie había podido, antes de la aparición de los ordenadores, hacer el tipo de composiciones musicales o pictóricas que son posibles ahora. Podría decirse que ninguna de todas estas nuevas posibilidades es realmente extraordinaria: el ordenador sería simplemente un nuevo instrumento que, como el microscopio, amplía las capacidades humanas,²¹ no las sustituye. Ya sería sin embargo suficientemente extraordinario que en este caso la ampliación de la capacidad humana se refiriera directamente a la capacidad intelectual. Como en la producción de artefactos industriales, en los que cada vez vemos más la impronta de la máquina y menos la mano del hombre, con la tecnología informática empiezan a aparecer productos intelectuales sin rastros aparentes de la inteligencia humana. Pero es que además el propio proceso de aprendizaje de la programación y la tarea misma de modificar, alterar o producir programas nuevos, es reducible en principio a tareas de procesamiento de información: un programa generado por ordenador, lo mismo que un poema o un cuadro, son entidades culturales estrictamente nuevas, en cuyo origen estará desde luego la inteligencia humana, pero cuya configuración peculiar no se puede decir que sea un producto intencional del programador. Son en cierto modo productos creativos de la máquina.²²

De todos estos nuevos productos informáticos los más relevantes filosóficamente son los propios programas de ordenador, esas ideas en forma de algoritmos capaces de revertir a su vez en el proceso productivo.²³

²¹ Bunge (1985b, pp. 227 y ss.).

²² Podemos definir la creatividad de forma que, por definición, las máquinas no puedan ser creativas. Por ejemplo: si sólo consideramos creativa una tarea *libremente* emprendida por un sujeto. Las máquinas no pueden crear nada —en realidad, no pueden hacer nada— para lo que no estén programadas. Pero se puede programar una máquina para que cree cosas nuevas: las estructuras gráficas generadas por programas de ordenador basados en conjuntos de Mandelbrot se pueden vender como obras de arte.

²³ En la actualidad la autoprogramación de ordenadores es más un postulado teórico que una realidad. En la práctica lo que resulta rentable es la programación de ordenadores asistida por ordenador. Pero no hay ningún impedimento lógico para que un ordenador pueda autoprogramarse. Para construir un programa de ordenador hay que hacer dos cosas: fijar el objetivo del programa (lo que tiene que realizar) y escribir la secuencia de operaciones que conducirán a ese objetivo. La primera parte es característica de la actividad intencional, pero podemos programar un ordenador para que tome decisiones respecto a los objetivos que conviene perseguir en determinadas circunstancias. Y la segunda parte se reduce a un

La tecnología informática conlleva también una alteración radical de la forma de integrar la actividad intelectual o la cultura en el sistema productivo. La tecnología preinformática hizo posible la separación entre el trabajo físico y el trabajo intelectual y la incorporación de éste a la producción en las tareas de control, diseño de productos, de máquinas, etc. Lo nuevo con la tecnología informática es que estas tareas intelectuales se pueden incorporar a la propia actividad de las máquinas. Lo que diferencia a un robot de una máquina automática es que en el robot las funciones de control son independientes de la configuración mecánica y eso hace posible la realización de múltiples tareas en función de las exigencias del medio, es decir —se tome como se tomare el sentido de esta expresión—, hace posible el comportamiento “inteligente” de las máquinas. En último término un robot no es nada más, ni nada menos, que un dispositivo técnico que controla el uso de energía para transformar la realidad a través de una *idea*, es decir, de un programa.

5. MITOS TECNOLÓGICOS

Generalmente la tecnología actual genera tanto en el filósofo como en el hombre de la calle más desasosiego que complacencia. El desasosiego se trasluce vívidamente en algunos de los mitos tecnológicos de nuestra época, como el mito de las máquinas pensantes, o el de la rebelión de las máquinas, es decir, de los robots.²⁴ Una de las razones para propiciar la reflexión filosófica sobre la técnica es la necesidad de destruir los prejuicios irracionales que subyacen a estos mitos, entre otros la idea de que los patrones de la racionalidad tecnológica son incompatibles con los intereses humanos, la de que el poder de la tecnología es absoluto y la de que el desarrollo tecnológico conduce inevitablemente a la pérdida de la libertad y por lo tanto es intrínsecamente perverso.

El mito de las máquinas pensantes no consiste en suponer que pueda haber máquinas capaces de realizar tareas intelectuales características del pensamiento humano, sino en interpretar esa realidad como si ello significara la *suplantación* del pensamiento humano por el “pensamiento de las máquinas”. Una de las con-

proceso de manipulación y ordenación de fórmulas, para el que los ordenadores digitales están especialmente dotados. De hecho, la forma en que un sistema experto de inteligencia artificial soluciona un problema nuevo constituye un ejemplo de autoprogramación: ante una situación el sistema “decide” qué objetivo es más conveniente perseguir y construye una secuencia de operaciones (un programa) para conseguirlo (Cuenca, 1985). Desde luego, el sistema está programado para que haga programas, pero no por ello los programas que hace son menos originales.

²⁴ Quintanilla (1986), pp. 68-74.

secuencias de este mito, paradójicamente, es que da pie a la reivindicación de formas de pensamiento irracional como únicas merecedoras del valor de lo humano: ya que las máquinas pueden pensar racionalmente, y hacerlo incluso mejor que nosotros, será que lo que realmente merece el calificativo de humano es solamente el pensamiento irracional.

En realidad las máquinas piensan, si es que entendemos, como Turing en su famoso artículo,²⁵ que pensar es la condición para comportarse inteligentemente. Pero su capacidad para suplantar al pensamiento humano no es mayor que la capacidad del hombre para suplantar la realidad de la que se ocupa en sus pensamientos. Una máquina inteligente es un *modelo* de una *parte* de la inteligencia humana, y el comportamiento inteligente de una máquina es una *simulación* del comportamiento inteligente de algunos seres humanos. La respuesta afirmativa a la pregunta de Turing se basa en dos supuestos muy plausibles: 1) que todo proceso intelectual humano es susceptible de formalización; 2) que cualquier proceso adecuadamente formalizado se puede reproducir (simular) mediante un programa de ordenador. Gracias a eso precisamente es posible construir modelos de procesos intelectuales y simular esos procesos en un ordenador programable. Lo peculiar de estos modelos, sin embargo, es que, en la medida en que lo que nos interesa en un proceso intelectual son justamente sus aspectos formales (lo que nos interesa de una inferencia deductiva es que obtenga conclusiones verdaderas a partir de premisas verdaderas, no las reacciones químicas que se producen en las neuronas de quien la ejecuta), la simulación del proceso es equivalente a su realización. Pero sabemos que ningún modelo formal puede agotar (ni suplantar) la realidad y, más aún, que ningún sistema formal puede modelizar todos los aspectos formalizables del pensamiento (teorema de incompletitud de Gödel). Así que las máquinas pueden pensar, pero no suplantar al pensamiento humano. Hay, sin embargo, una forma de facilitar las cosas para que al final *parezca* que es así: que los seres humanos dejemos en manos exclusivas de las máquinas el pensamiento racional y nos dediquemos tan sólo a cultivar la irracionalidad.²⁶

El mito de la rebelión de las máquinas es la versión actualizada del aprendizaje de brujo y, como en este caso, tiene fácil solución: basta con vigilar las consecuencias de nuestras acciones para evitar que desencadenen procesos irreversibles que no podamos controlar. La peculiaridad del mito actual no se debe a la idea de que las máquinas o los robots puedan actuar por su cuenta, sino a la idea de que

²⁵ Turing (1950).

²⁶ Weizenbaum (1976).

nos pueden llegar a dominar (podemos ser controlados por las máquinas, por la tecnología, no en el sentido de que nos impidan hacer lo que queramos, sino en el de que lleguen a determinar lo que queremos hacer, ¡el poder de la tecnología de la comunicación!).²⁷ Se dan cita en este mito varios prejuicios atávicos: la existencia de poderes absolutos (que ahora atribuimos a la técnica y hace algunos siglos a la divinidad), la idea de que el desarrollo científico-técnico es autónomo e independiente de nuestra voluntad, o la idea de que toda transformación de la realidad es una violación de la naturaleza que merece su castigo. El mito tiene su adecuada versión sociológica y política para los tiempos que corren: la tecnología actual, que es hija del capitalismo, ha heredado la perversidad de su padre.

Es demasiado abigarrado el conjunto de supersticiones y prejuicios que se dan cita en este mito de nuestro tiempo como para poder despacharlos en cuatro líneas. Digamos tan sólo que, para empezar, se basa en unas cuantas ideas confusas y equivocadas acerca de la tecnología actual: 1) las tecnologías de la información nos permiten automatizar la toma de decisiones en muchos campos, pero gracias a ello podemos concentrar el ejercicio de nuestra libertad en otros mucho más importantes y determinantes para nuestra sociedad; 2) las tecnologías de que disponemos —y más aún, seguramente las tecnologías de que dispondremos en el futuro— son extraordinariamente poderosas; sin embargo, la tecnología “total”, la “hipermáquina” todopoderosa, es imposible;²⁸ 3) el desarrollo tecnológico responde a ciertas pautas peculiares de racionalidad práctica, pero depende de valoraciones y de actividades humanas, no es autónomo;²⁹ 4) la tecnología no es perversa, pero los usuarios, los inventores o los promotores de una tecnología sí pueden serlo, y para evitar que los perversos decidan el futuro tecnológico lo me-

²⁷ Hay una versión biotecnológica tanto del mito de las máquinas pensantes como del de la rebelión de los robots: el mito de los “replicantes”, tan bien recogido en la película *Blade Runner*, heredero indirecto de *Frankenstein* y directo del *Brave New World*. El problema filosófico específico del mito de los replicantes es el de si individuos creados artificialmente, pero dotados de todas las propiedades características de lo humano, son verdaderamente humanos. Los creadores del mito se inclinan claramente a pensar que sí. Y yo creo que llevan razón. Otra cosa es que el objetivo tecnológico de crear individuos humanos con dotación genética completamente controlada sea factible y moralmente razonable. Respecto a esto último comparto la que parece ser opinión mayoritaria en nuestros días: la ley que se acaba de aprobar por el parlamento español prohíbe este tipo de investigaciones. [El texto se refiere a la reproducción clónica de seres humanos. Cuando se aprobó la ley no se sabía que el uso de técnicas de clonación para investigar sobre células madre pudiera tener alguna aplicación terapéutica, como es el caso en la actualidad, octubre de 2004, cuando el gobierno acaba de aprobar una reglamentación que permite realizar investigaciones biomédicas con células embrionarias y se anuncia una nueva ley que permite la clonación con fines terapéuticos no reproductivos.]

²⁸ Véase el cap. v.

²⁹ Véase el cap. vi.

por que podemos hacer los hombres buenos es procurar proveernos de mejores tecnologías que ellos; 5) aunque el capitalismo fuera intrínsecamente perverso, los hijos de los malhechores pueden ser buenas personas y la tecnología es necesaria para cualquier proyecto social que quiera tener posibilidades de éxito, sea socialista o anarquista.

Lo que subyace en los mitos tecnológicos de nuestro tiempo son, pues, generalmente, prejuicios irracionales. El desarrollo de la filosofía de la técnica quizá pueda ayudar a entender mejor lo que nos está pasando y a descubrir que la tecnología es ante todo un motivo de esperanza, no de temor, para la humanidad.

6. EL SENTIDO DE LAS TEORÍAS FILOSÓFICAS

Hay muchas formas diferentes de entender las misiones y los métodos de la filosofía. El enfoque que aquí adoptaremos es clásico en la medida en que suponemos que los problemas filosóficos o los aspectos filosóficos de cualquier problema intelectual son los que como tales han sido reconocidos a lo largo de la tradición filosófica occidental. En síntesis: cómo es la realidad, cómo podemos conocerla y qué podemos (o debemos) hacer. Pero dentro de este amplio marco adoptamos una perspectiva naturalista y racionalista y entendemos, como en la tradición de la filosofía analítica, que la misión más importante de la reflexión filosófica es aclarar problemas conceptuales.

El *naturalismo* consiste, dicho en pocas palabras, en considerar que todas las cosas reales están compuestas en último término de elementos que se dan en el mundo físico o natural.³⁰ El *racionalismo* (compatible con el naturalismo), consiste en suponer que no hay otra forma mejor de aumentar nuestro conocimiento de la realidad que no sea aplicar el método científico y promover el desarrollo de la ciencia. Desde esta perspectiva, el hombre es parte del mundo natural y los valores que guían la acción del hombre son convenciones que adoptamos o cambiamos en función de lo que consideramos valioso para nuestra existencia.

Respecto a la tradición analítica, lo que aquí recogeremos de ella es el giro hacia una reflexión de segundo orden que el análisis filosófico supone, así como

³⁰ Naturalismo en este sentido es sinónimo de materialismo. Se trata de categorías filosóficas de extraordinaria generalidad que, por eso mismo, no son susceptibles de definición precisa. A lo más que podemos aspirar es a caracterizarlas de forma suficiente. Véase Esquivel (comp.) (1982), Quintanilla (1981, pp. 139 y ss., y 1982), Bunge (1981).

el uso de instrumentos precisos y formales cuando sean necesarios para el análisis conceptual.³¹

Cuando hablamos de reflexión de segundo orden queremos decir lo siguiente: frente a algunas concepciones románticas o irracionalistas de la filosofía, según las cuales el filósofo accede al conocimiento de la realidad con métodos específicos (de forma que se suele hablar de un “acceso filosófico” a la realidad que permitiría supuestamente una comprensión más profunda y “auténtica” de ésta), aquí supondremos que la reflexión filosófica se instala sobre conocimientos previos de las ciencias o del sentido común. Concretamente no habrá una teoría filosófica del mundo, además de una teoría científica, sino aspectos filosóficos, es decir generales, en el conocimiento científico del mundo, o supuestos implícitos en la estructura conceptual del sentido común (o del lenguaje ordinario, si se adopta una perspectiva lingüística, que sin embargo no siempre es la más adecuada) cuando se razona acerca de cuestiones humanas. La filosofía, pues, no pretende teorías alternativas frente a las de la ciencia o las del sentido común, sino reflexiones teóricas, aclaraciones conceptuales o propuestas interpretativas en continuidad con las de la ciencia, las teorías humanísticas o las ideas del sentido común. Así, la mayor parte de las reflexiones y teorías filosóficas serán de segundo orden: no acerca de los átomos como componentes de la materia, sino acerca de las teorías atomistas; no acerca del bien y de la obligación moral, sino acerca de los códigos morales. Incluso cuando el filósofo haga propuestas sustantivas sobre la estructura de la realidad o la obligación moral, su única justificación será la idoneidad de las mismas para aclarar problemas planteados en las teorías científicas o códigos morales. Por ejemplo: ninguna teoría científica se ocupa directamente en dilucidar el concepto de causalidad o determinación física, aunque muchas teorías den por supuestos estos conceptos y sea una tarea típica de la filosofía indagar en su sentido o aclarar su significado. O equivalentemente: ningún código jurídico o moral se ocupa explícitamente en aclarar las condiciones de consistencia de un sistema de normas, sino que dan por supuesto que deben ser consistentes, y es el filósofo, con ayuda de la lógica deóntica, quien se ocupa de aclarar la noción de consistencia o de racionalidad aplicada a un sistema de normas.

La técnica, como la ciencia, es una parte importante de la actividad humana. La idea que presidirá nuestro enfoque de la filosofía de la técnica es paralela a la que está generalizada en el ámbito de la filosofía de la ciencia: aquí la reflexión filosófica es una reflexión de segundo orden sobre la realidad y de primer orden

³¹ Muguerza (comp.) (1974), Ferrater Mora (1974), Quintanilla (1976b).

sobre el conocimiento científico de la realidad. La filosofía de la técnica es una reflexión de segundo orden sobre la acción humana de transformación de la realidad y de primer orden sobre las representaciones y formulaciones —sistemizadas, elaboradas o ingenuas— que nos hacemos de esas acciones técnicas. El propósito es lograr una mayor comprensión intelectual del fenómeno de la técnica y una mayor profundidad en el análisis de los problemas filosóficos especialmente relevantes en la técnica.

Además de objeto de reflexión filosófica, la técnica es también objeto de estudio científico por parte de múltiples ciencias sociales: la historia, la sociología, la psicología y la economía pueden ayudarnos a conocer mejor el fenómeno técnico, y una filosofía de la técnica debe tomar en consideración sus aportaciones. Pero conviene señalar las diferencias entre estudios científicos sobre la técnica y teorías filosóficas: el enfoque filosófico será teórico, conceptual, no empírico. Podremos proponer teorías generales acerca de la acción técnica, de la estructura de los sistemas tecnológicos, de los factores relevantes para su desarrollo o de la lógica de la evaluación de proyectos tecnológicos. Todo ello puede ser de utilidad a la economía, la sociología, la politología o la historia de la técnica, pero no es nuestro propósito competir con ellas, sino aclarar los problemas de carácter ontológico, epistémico o valorativo que subyacen a la técnica y que, en sus aspectos generales o básicos, no son objeto específico de ninguna disciplina empírica.

La perspectiva “metarreflexiva”, o de reflexión de segundo orden, que adoptamos en filosofía, implica una consecuencia que no siempre se toma suficientemente en consideración. Me refiero al componente *valorativo* que es inherente a la reflexión filosófica así entendida. De nuevo la filosofía de la ciencia nos puede servir como paradigma: el supuesto básico del que parte es que la ciencia es valiosa en su función de conocimiento racional de la realidad. Con otras palabras: la ciencia puede ser objeto de interés económico, cultural, estético, psicológico, etc.: para la filosofía es un objeto de interés epistémico, es decir, como forma de conocimiento objetivo de la realidad. La idea de conocimiento objetivo, de teoría verdadera, de capacidad explicativa de una teoría, de progreso científico en el conocimiento de la realidad, son ideas filosóficas, son ideas centrales para la filosofía de la ciencia. Y todas ellas conllevan una carga valorativa: al adoptar un concepto de explicación científica el filósofo no sólo describe o interpreta las explicaciones de fenómenos naturales que proporcionan las teorías científicas, sino que además les asigna un valor epistémico. En este sentido la filosofía no es sólo analítica, sino además normativa o, si se prefiere, evaluativa. De hecho las tareas de la filosofía de la ciencia se podrían resumir así: *análisis y evaluación de las teo-*

*rias y métodos científicos desde el punto de vista de su función y su valor cognoscitivos.*³² ¿Cuál es la perspectiva equivalente en el caso de la filosofía de la técnica?

A diferencia de las ciencias, que son sistemas de conocimientos, las técnicas son sistemas de acciones de determinado tipo que se caracterizan, desde luego, por estar basadas en el conocimiento, pero también en otros criterios, como el ejercerse sobre objetos y procesos concretos y el guiarse por criterios pragmáticos de eficiencia, utilidad, etc. En este sentido la filosofía de la técnica es una reflexión de segundo orden sobre una clase de *acciones* humanas, y su problemática está a caballo de la filosofía práctica (filosofía de la acción, filosofía moral, etc.) y la teórica (epistemología, ontología). El supuesto normativo básico de la filosofía de la técnica es que las acciones técnicas son la forma más valiosa de intervenir o modificar la realidad para adaptarla a los deseos o necesidades humanos. La dilucidación de las nociones de transformación de la realidad, eficiencia técnica, racionalidad técnica, etc., implica compromisos valorativos respecto a lo que consideramos una *buena* técnica o una buena tecnología, de forma semejante a como en filosofía de la ciencia nos obligamos a definir una *buena* teoría científica. De manera que podríamos decir que *el objeto de la filosofía de la técnica es el análisis y la evaluación de los sistemas técnicos y de las operaciones involucradas en su desarrollo desde el punto de vista de su función y su valor prácticos, es decir, de su función y su valor para controlar la realidad de acuerdo con los deseos humanos.*

7. TAREAS DE LA FILOSOFÍA DE LA TÉCNICA

Así pues, la técnica de nuestros días, fruto de la Revolución Industrial, del capitalismo y de la investigación científica, es un dechado de problemas filosóficos y un banco de pruebas para medir la relevancia de las teorías filosóficas.³³

He aquí, a título de ejemplo, algunos de estos problemas:

- 1) *Problemas ontológicos*: estructura de la acción intencional, entidad de los artefactos, causalidad instrumental.
- 2) *Problemas epistemológicos*: el conocimiento operacional y su estructura (*know how*), la naturaleza de una invención, relaciones entre conocimiento científico y tecnológico, estructura de las teorías tecnológicas, la creación de diseños.

³² Quintanilla (1987).

³³ Bunge (1977a).

- 3) *Problemas valorativos*: criterios de evaluación de tecnologías, los objetivos de la acción tecnológica, implicaciones morales, políticas, económicas y culturales del desarrollo tecnológico.

Se trata sólo de una lista de problemas abiertos. Pero es suficiente como ejemplificación de la tesis que estamos exponiendo: en la tecnología actual se plantean continuamente problemas que tienen un evidente interés filosófico, de acuerdo con las pautas tradicionales de lo que se considera que es el objeto de la reflexión filosófica. Podría incluso decirse algo más: apenas es posible imaginar alguna cuestión filosófica importante que podamos plantearnos en la actualidad sin toparnos con la relevancia de factores tecnológicos: en filosofía de la ciencia nos encontraremos con los condicionantes técnico-económicos del desarrollo científico, en ética con el paradigma de la racionalidad instrumental que impone la tecnología como modelo de acción racional, en filosofía política con las constricciones que la racionalidad tecnológica impone a la adopción de decisiones de interés colectivo, en filosofía del arte con las repercusiones que para el proceso creativo tienen las tecnologías de la comunicación y la información.

Así pues, no es extraño el actual auge de la filosofía de la técnica. El fenómeno se inicia en torno al decenio de 1930. Seguramente la obra que más influencia ha tenido desde su publicación es la de Mumford (1934), de carácter histórico y sociocultural. Desde entonces, la filosofía de la técnica ha seguido varios derroteros, predominando tres orientaciones: la metafísica y antropológica (Ellul, 1954), la crítico-ética (Habermas, 1968) y la epistemológica (Laudan [comp.], 1984).

En las últimas décadas se observa el desarrollo de una serie de tradiciones académicas que confluyen de una forma u otra en el campo de la filosofía de la técnica y contribuyen a configurar la situación actual. En primer lugar, la historia de la ciencia se va desplazando de los planteamientos internalistas clásicos hacia una mayor atención a los factores externos, sociológicos, económicos, etc., del desarrollo científico.³⁴ Esto ayuda a su vez a que los historiadores se preocupen cada vez más de la historia de la técnica, junto a la historia de la ciencia.

Al mismo tiempo, las repercusiones de la obra de Kuhn³⁵ tanto en historia como en filosofía de la ciencia establecen un puente entre las dos comunidades académicas y una transferencia de problemáticas y de centros de interés.³⁶ La téc-

³⁴ Lafuente y Saldaña (comps.) (1987) proporcionan una buena panorámica de las tendencias actuales en la historiografía de la ciencia.

³⁵ Kuhn (1962).

³⁶ Gutting (1984).

nica empieza a ser así objeto de reflexión entre especialistas en filosofía de la ciencia que, por otra parte, constituyen uno de los grupos de filósofos más pujantes en las últimas décadas. En los últimos años, además, se opera un gran trasvase e intercambio de enfoques entre lo que podríamos llamar, por una parte, el ámbito anglosajón de la filosofía contemporánea, heredera de la tradición analítica y, en cierto modo, del empirismo lógico, y por otra, el ámbito continental, más vinculado a tradiciones filosóficas como la fenomenología, la hermenéutica, la dialéctica, el existencialismo, en el que los problemas antropológicos, sociales, políticos y éticos han producido también aproximaciones al fenómeno de la técnica contemporánea.³⁷

La situación actual se caracteriza por una amplia difusión de estudios, publicaciones, congresos e instituciones dedicados a la filosofía de la técnica. Pero al mismo tiempo por una gran dispersión de enfoques y métodos y una gran indefinición del propio campo de investigación. Un indicio de ello es, por ejemplo, el hecho de que cualquier trabajo sobre la filosofía de la técnica (incluido el presente) se ve en la obligación de empezar delimitando el propio concepto de técnica o tecnología y proponiendo un esbozo del área de investigación en que se pretende ubicar. La distinción entre técnica y tecnología, el tema de las relaciones entre conocimiento científico y tecnológico y la cuestión de la evaluación de la tecnología siguen siendo problemas abiertos de carácter previo en cualquier contribución a la filosofía de la técnica.

Nuestra intención es precisamente delinear un esbozo de filosofía sistemática de la técnica, desde una perspectiva que conecta, desde luego, con la tradición de la filosofía de la ciencia, tanto por las motivaciones profundas que guiarán nuestra reflexión, como por el tipo de métodos analíticos y de enfoques que adoptaremos. Esto no significa, sin embargo, que vayamos a considerar la técnica simplemente como ciencia aplicada y la filosofía de la técnica como una extensión de la filosofía de la ciencia. Se trata más bien de ensayar en filosofía de la técnica un tipo de enfoques que han resultado fructíferos en filosofía de la ciencia con el intento de articular en lo posible, de forma sistemática, este nuevo campo de investigación. Por lo demás, la filosofía de la técnica no es ni siquiera —como lo es la filosofía de la ciencia— una rama de la epistemología. En cierto modo, se puede entender más bien como una rama de la filosofía moral, aunque mejor aún como un área especializada de la reflexión filosófica que abarca prácticamente todos los campos de ésta: la ontología, la epistemología y la ética.

³⁷ París (1973) es un ejemplo temprano de esta orientación en la filosofía española actual.

Para el enfoque que aquí adoptamos existen precedentes notables que es preciso señalar. Entre los clásicos, por su claridad, su carácter precursor y su enfoque al mismo tiempo global y ajustado a lo específico del tema, es obligado reivindicar la breve pero interesante obra de Ortega y Gasset. Su “Meditación de la técnica” (1939) debería seguir siendo hoy un motivo de inspiración para quien pretenda construir una teoría filosófica general de la técnica.³⁸ Y entre los autores actuales la obra de Mario Bunge³⁹ es en mi opinión el mejor punto de referencia para construir una filosofía de la técnica de carácter riguroso.

³⁸ Un ejemplo notable de esa inspiración son los ensayos de Laín Entralgo (1986) dedicados a este tema. Sin embargo, la herencia intelectual de Ortega en este campo, como en tantos otros, ha sido también adulterada por el escolasticismo.

³⁹ Son muchos los escritos de Bunge dedicados a filosofía de la técnica. Entre otros: Bunge 1963, 1974b, 1976. La exposición más sistemática y completa se encuentra en el último volumen (el VII: Bunge, 1985b, segunda parte) publicado hasta el momento, de su monumental *Treatise on Basic Philosophy* (1974-1985).

II. CARACTERIZACIÓN DE LA TÉCNICA

HEMOS visto en el capítulo anterior algunos rasgos relevantes de la tecnología actual. Sabemos que la tecnología moderna, a partir de la Revolución Industrial, configura de forma decisiva todo el ámbito de la experiencia humana: altera la realidad, nuestra forma de representarla y explicarla y nuestros criterios para valorarla. Así, tenemos una buena cantera de problemas filosóficos ante nosotros. Lo primero que debemos hacer, sin embargo, es desbrozar el camino, aclarando algunas cuestiones casi terminológicas. En primer lugar, el propio concepto de técnica.

1. LA NOCIÓN GENERAL DE TÉCNICA

Los términos *técnica* y *tecnología* son ambiguos. En castellano, dentro de su ambigüedad, se suelen utilizar como sinónimos. En la literatura especializada se tiende a reservar el término *técnica* para las técnicas artesanales precientíficas, y el de *tecnología* para las técnicas industriales vinculadas al conocimiento científico. Por otra parte, los filósofos, historiadores y sociólogos de la técnica se refieren con uno u otro término tanto a los artefactos que son producto de una técnica o tecnología como a los procesos o sistemas de acciones que dan lugar a esos productos, y sobre todo a los conocimientos sistematizados (en el caso de las tecnologías) o no sistematizados (en el caso de muchas técnicas artesanales) en que se basan las realizaciones técnicas. Por último, el concepto de técnica se usa también en un sentido muy amplio, de forma que incluye tanto actividades productivas, artesanales o industriales, como actividades artísticas o incluso estrictamente intelectuales (como la técnica o conjunto de reglas para hallar la raíz cuadrada de un número).

En este libro utilizamos el término *técnica* en sentido genérico y distinguiremos dos grandes clases de técnicas, las técnicas artesanales o preindustriales y las técnicas industriales de base científica. Para estas últimas reservamos el término *tecnología*. Nuestro propósito ahora será caracterizar informalmente el concepto genérico de técnica, desde la perspectiva de considerar prioritarios para la definición de una técnica los procesos y acciones que intervienen en ella. A partir de

este concepto genérico podremos dar cuenta de otros sentidos en que se usa la misma noción.

Conviene, antes de nada, establecer una distinción entre lo que es una técnica propiamente dicha, y lo que son las realizaciones o aplicaciones concretas de una técnica y las formulaciones de una técnica. Las técnicas son entidades culturales de carácter abstracto,¹ que pueden tener distintas realizaciones o aplicaciones y se pueden formular o representar de diferentes formas. Por ejemplo: suponemos la técnica de torneado de madera utilizando un torno mecánico. El manual de operaciones del torno sería una formulación más o menos estándar de esa técnica (que incluirá la descripción de la máquina, el tipo de materiales que se pueden tornearse con ella, las operaciones que hay que realizar para utilizarla y, seguramente, información adicional sobre el “arte” de tornearse con esa máquina). El uso o aplicación de la máquina para tornearse un determinado trozo de madera sería una aplicación o realización concreta de esa técnica. La técnica en cuanto tal sería una entidad abstracta que podríamos definir como el conjunto de todas las realizaciones técnicas concretas posibles con esa máquina. Generalizando, la técnica del torneado de madera sería el conjunto de todas las técnicas con máquinas de torneado de madera, etc. En principio, para caracterizar una técnica podríamos explicar o relatar su “manual de operaciones”, o bien mostrar una concreta realización técnica y explicar la clase de realizaciones que consideraremos equivalentes a ésta. Paralelamente, para caracterizar el concepto general de técnica podemos, o bien caracterizar el tipo de contenido que se supone común a todos los manuales de operaciones o formulaciones de una técnica, o bien determinar el tipo de acciones o procesos que caracterizan a cualquier realización de esa técnica. Aquí seguiremos este segundo enfoque, que intentaremos justificar en el siguiente apartado. Por consiguiente, empezamos caracterizando informalmente la noción de realización técnica. En el próximo capítulo desarrollaremos el aparato formal que nos permitirá precisar estas primeras nociones intuitivas.

Una *realización técnica* es un *sistema de acciones intencionalmente orientado a la transformación de objetos concretos para conseguir de forma eficiente un resultado valioso*.²

¹ En mi trabajo Quintanilla (1988), donde expuse las ideas básicas que estoy desarrollando aquí, no quedaba suficientemente clara la distinción entre técnicas, como entidades abstractas, y sistemas técnicos concretos, como realizaciones o aplicaciones de una técnica. Debo agradecer a Jesús Mosterín el haberme hecho notar la importancia de la distinción en cuantas ocasiones (y han sido varias) hemos tenido de discutir estos temas. Espero que la exposición presente finalmente haga justicia a sus objeciones.

² En la primera edición figuraba en la definición una referencia a acciones “humanas”: “Una realiza-

Una *técnica* es una *clase de realizaciones técnicas equivalentes respecto al tipo de acciones, a su sistematización, a las propiedades de los objetos sobre los que se ejercen y a los resultados que se obtienen*. En todo caso, el concepto de técnica se refiere a *acciones*.³ Pero conviene hacer algunas aclaraciones.

En primer lugar, no cualquier tipo de acción humana intencional será considerada como una acción técnica. Concretamente, el hecho de realizar una acción valiéndose de instrumentos o herramientas no es suficiente para considerarla una acción técnica (aunque el empleo de herramientas propiamente dichas, es decir, de instrumentos creados para realizar acciones específicas con mayor eficacia, sí supone una técnica: la de la producción de esas herramientas). Cuando Pascual Duarte mata de un tiro a su perro está realizando una acción intencional valiéndose de instrumentos, pero no una acción técnica. En cambio, cuando el matarife sacrifica un animal, siguiendo unas pautas establecidas y orientadas a la consecución de su objetivo de acuerdo con ciertos criterios de utilidad (mejorar la calidad de la carne, evitar el sufrimiento del animal, garantizar condiciones higiénicas, etc.) sí está aplicando una técnica, por elemental que pueda ser. Así pues, las técnicas son *sistemas de acciones*, no acciones aisladas o esporádicas. Ésta es una primera restricción que establecemos para el uso del concepto genérico de técnica.

Por otra parte, sólo utilizaremos el concepto de *técnica* para referirnos a *sistemas de acciones intencionalmente orientados*. Esto excluye del ámbito de las técnicas las acciones llevadas a cabo, de forma sistemática pero instintiva, por algunas especies animales, como es el caso de la construcción de nidos, madrigueras o colmenas. No excluye, sin embargo, la posibilidad de que una técnica implique acciones no deliberadas de individuos humanos. Un remero, un ciclista o un obrero en una cadena de montaje pueden ejecutar una técnica de forma mecánica, una vez aprendida; pero el conjunto de acciones que realizan ha sido intencionalmente sistematizado mediante un proceso de aprendizaje o una planificación consciente, para conseguir el máximo rendimiento, el mínimo esfuerzo o la mayor regularidad. Lo esencial es que el conjunto de las acciones que constituyen una técnica esté intencionalmente sistematizado para conseguir los objetivos o resultados de esa técnica. En la medida en que la actividad intencional no es pa-

ción técnica es un sistema de acciones humanas... etc." Es preferible la versión que proponemos ahora, más genérica y coherente con el resto del texto original. [MAQ: 2005].

³ En Quintanilla (1980a) utilicé por primera vez la noción de sistema de acciones (presente ya en Carlos París [1973], MAQ: 2005]) para definir la técnica, aunque la definición que entonces propuse me parece incorrecta.

trimonio exclusivo de la especie humana, nuestra noción de técnica no excluye posibles técnicas animales, en el sentido de técnicas aprendidas o inventadas por animales no humanos, de las que hay ejemplos en la literatura etológica. No profundizaremos, sin embargo, en este tema. Seguramente, como en el caso de otros aspectos de la cultura, la diferencia entre técnicas animales y técnicas humanas tiene más que ver con el grado de complejidad de las mismas, y sobre todo con las posibilidades de transmisión, innovación y “progreso”, que con la naturaleza misma del tipo de operaciones que unos y otros pueden realizar.

Introducimos también en nuestra caracterización de la técnica la referencia a la *transformación de objetos concretos*. De esta forma nos apartamos de un uso aún más genérico del término *técnica* que lo hace equivalente a *método* al incluir no sólo operaciones reales sobre cosas reales, sino también operaciones conceptuales. Podemos caracterizar un método como un procedimiento —una sucesión regulada de operaciones— para resolver un problema. Si el problema es de tipo práctico, las operaciones necesarias serán en su mayoría acciones concretas sobre cosas concretas, y el método constituirá una técnica en sentido estricto. Si el problema es puramente conceptual, las operaciones también pueden ser estrictamente conceptuales o abstractas. El método para resolver ecuaciones de segundo grado es de este último tipo. Sin embargo, casi todos los métodos conceptuales involucran acciones concretas y, más aún, para muchos problemas conceptuales existen métodos de resolución que consisten estrictamente en realizar operaciones concretas sobre objetos concretos: desde los métodos de resolución de problemas geométricos con regla y compás hasta los de construcción de modelos a escala para resolver sistemas complejos de ecuaciones en ingeniería civil o aeronáutica (es decir, en la parte de la actividad técnica de los ingenieros que es puramente conceptual, la construcción y evaluación de modelos teóricos, aunque su objetivo sea práctico). Más aún, la tecnología de la información tiene un componente estrictamente conceptual (lo que llamamos el *software* o soporte lógico de un sistema informático), y además permite construir modelos procesables por computador para tratar en principio cualquier problema conceptual que pueda ser definido con precisión. Sin embargo, sigue siendo útil mantener la separación entre métodos conceptuales y técnicas concretas: la filosofía de la técnica no se solapa con la metodología de la ciencia. Un procedimiento para resolver problemas conceptuales constituirá una técnica, en el sentido en que aquí usaremos este término, si se le considera desde el punto de vista de las acciones u operaciones que hay que realizar sobre objetos concretos para resolverlo; constituirá un método, pero no una técnica, si se le considera desde el punto de vista de las operacio-

nes conceptuales que implica. La virtualidad de esta distinción se puede apreciar con un ejemplo elemental: en un método abstracto para resolver sistemas de ecuaciones la función del papel y el lápiz no es esencial, lo esencial es la sucesión de operaciones algebraicas abstractas (transformaciones de fórmulas) que hay que realizar, independientemente de que las operaciones se realicen con papel y lápiz o con tiza y pizarra, con números, con letras o con figuras. Sin embargo, una técnica para la resolución del mismo sistema de ecuaciones por computador exige adaptar el método abstracto a operaciones concretas que deberá realizar la máquina. Desde luego, la representación del algoritmo o programa informático que resolverá el problema puede hacerse también en abstracto, pero la formulación definitiva del mismo de forma apta para que sea procesado por el ordenador se reduce a una serie de operaciones concretas sobre el soporte material de la memoria del ordenador. Y este último proceso (el de programar la máquina) constituye estrictamente una técnica. Lo mismo vale para “técnicas” y métodos en el ámbito de la literatura, la música y en general las artes “inmateriales”.

La idea de ordenación del sistema de acciones a la consecución de un *resultado valioso* es algo más problemática que las anteriores. Las nociones de resultado de una acción y de valor de un resultado son ambiguas. No es lo mismo el resultado que obtiene el pintor al pintar un cuadro que el que obtiene un ingeniero al construir un engranaje. Para distinguir las técnicas productivas de las artes se suele decir que en el arte no existe una intencionalidad previa de conseguir un resultado predefinido utilizando para ello los medios que se consideran más adecuados, sino que el resultado de la obra se va definiendo a medida que ésta se realiza;⁴ por el contrario, en los oficios o técnicas productivas el resultado perseguido condiciona todo el proceso. Esto es sólo verdad a medias. En realidad no es un despropósito que un concepto genérico de técnica, como el que estamos utilizando, pueda aplicarse tanto a técnicas artísticas como productivas. La diferencia entre unas y otras depende del criterio de valoración de los resultados que rija en cada caso. En principio, cabe suponer que las realizaciones técnicas las juzgamos prioritariamente con criterios pragmáticos, de utilidad para resolver problemas prácticos, para modificar el medio de forma que se adapte a nuestras necesidades o para controlar, de acuerdo con nuestros deseos, el comportamiento de la realidad. Frente a esto, las obras de arte las valoramos con criterios no necesariamente

⁴ Rogers (1983). Las relaciones entre arte y técnica son objeto frecuente de reflexión filosófica y de estudio histórico: Mumford (1934) y Francastel (1956) son referencias obligadas. La obra de Ellul (1980) está dedicada al análisis de la significación del arte en una sociedad sometida al imperio de la tecnología (véase también Ellul, 1954 y 1977).

pragmáticos. Sin embargo, conviene no olvidar que, de hecho, en la mayoría de obras técnicas es difícil diferenciar los componentes estéticos de los funcionales o utilitarios; desde el hacha de sílex hasta la más avanzada obra de ingeniería civil, cualquier obra técnica se puede juzgar con criterios estéticos, prácticos o económicos. Sin embargo, hay una última nota en nuestra caracterización de la técnica que es más relevante a este respecto: el criterio de eficiencia.

No es fácil definir la *eficiencia* de una acción. Por el momento podemos contentarnos con la noción intuitiva según la cual una técnica es más eficiente que otra si consigue el mismo resultado con menor coste (sea económico, sea energético, sea de tiempo, etc.), o si con el mismo coste consigue un resultado más valioso, siempre que los valores de los resultados de ambas sean comparables. La dificultad, sin embargo, reside en la valoración objetiva de los resultados y los costes.⁵ Éste es un asunto en el que tendremos que profundizar más adelante (cap. v). Por el momento baste señalar que la presencia de una valoración de costes y beneficios (aunque no tenga por qué ser en sentido económico) en la caracterización de la técnica implica que la ordenación del sistema de acciones técnicas a la consecución del resultado previsto se rige por principios de *adecuación de medios a fines*, es decir, por principios de lo que suele llamarse racionalidad práctica o instrumental.⁶ La obra de arte se valorará fundamentalmente por su capacidad expresiva y en esa medida la ineficiencia de su realización, como la inutilidad de su resultado puede no sólo no ser un disvalor, sino ser incluso una parte importante de su valor estético. Seguramente ésta es la razón que justifica las preferencias estéticas por las obras de artesanía frente a los productos industriales. Conviene señalar, sin embargo, que este criterio de expresividad frente a eficiencia y funcionalidad no es el único posible para la valoración estética. El auge del diseño industrial, o la incorporación de criterios estéticos a la arquitectura funcional, nos indican que hay otros criterios de valoración en que se conjugan la eficiencia y la funcionalidad con el agrado o el gusto estético.

Hasta aquí nuestra caracterización inicial del concepto genérico de técnica. A partir de él se puede dar cuenta de otros usos del mismo término en un sentido derivado. Ya hemos indicado que es usual referirse con él no sólo a un sistema de

⁵ Bunge (1983, vol. VI, pp. 140 y ss.) analiza el concepto de eficiencia tecnológica en relación con el de verdad científica demostrando su irreductibilidad. Tobar-Arbulu (1988) define la eficiencia tecnológica reduciéndola a la eficiencia termodinámica.

⁶ Muchos filósofos distinguen tajantemente entre racionalidad *práctica* (referida a los fines de la acción humana) e *instrumental* (referida a los medios) y existen fuertes discusiones acerca de la naturaleza de la racionalidad tecnológica. Véase Mosterín (1978 y 1986), Quintanilla (1981), Mugerza (1986), Liz (1988) y Valdivia y Villanueva (comps.) (1988).

acciones, sino también al resultado de esas acciones, a veces a los materiales sobre los que se ejercen esas acciones (la técnica del hierro, la tecnología del silicio, del carbón, etc.), e incluso al sistema de reglas operacionales o de conocimientos teóricos y prácticos que son necesarios para llevar a cabo las acciones. Así, la historia de la técnica se concibe generalmente como la historia de los artefactos técnicos (lo único que conocemos, muchas veces, de las técnicas del pasado) o de los conocimientos técnicos (que inferimos a partir de los artefactos que conocemos o por testimonio directo de escritos en los que se exponen esos conocimientos); rara vez se entiende la historia de la técnica en el sentido primario que aquí damos al término. Pero en general la existencia de estos usos derivados del término no debe plantearnos ningún problema grave. La identificación de una técnica con un tipo de artefactos que son sus resultados es una metonimia perfectamente natural, puesto que los resultados de una acción constituyen un buen medio para designar esa acción. Pero nos parece importante insistir en la referencia primaria de nuestro concepto genérico de técnica para abarcar con claridad todo el ámbito de problemas de la filosofía de la técnica. Concretamente, la filosofía de la técnica no es sólo una teoría de lo artificial o de los artefactos entendidos como entidades, sino de la *realización de artefactos*. Y en especial la filosofía de la técnica no es sólo una teoría del conocimiento técnico, sino de la *acción guiada por ese conocimiento*.⁷

2. TÉCNICA Y CONOCIMIENTO

La práctica de una técnica exige disponer de determinado tipo de conocimientos: hay que conocer los materiales a que se aplica y las condiciones que deben reunir, los objetivos que se persiguen con su aplicación y lo que hemos llamado el “manual de operaciones”, es decir, el conjunto de reglas o normas de actuación que deben seguirse para obtener los resultados previstos y las instrucciones que indiquen en qué orden hay que aplicar esas reglas. En realidad, se trata de componentes cognoscitivos necesarios para cualquier acción intencional compleja. Sin embargo, la presencia de un factor cognoscitivo en toda técnica ha llevado a veces a caracterizar las técnicas como formas específicas de conocimiento práctico. A partir de aquí, caben todavía dos alternativas filosóficas: la de quienes consideran que el conocimiento práctico tiene un núcleo irreducible, no formalizable, y la de quienes consideran que sí es posible formalizar tal tipo de conocimiento.

⁷ Bunge (1985b).

Desde nuestro punto de vista, que considera las técnicas como sistemas de acciones, éstas involucran conocimientos y concretamente un tipo específico de conocimientos operacionales o prácticos. Tales conocimientos son en principio formalizables, es decir, susceptibles de ser formulados de manera precisa en un lenguaje, y en ese sentido no hay ninguna forma de conocimiento técnico de carácter inescrutable. Lo que ocurre, sin embargo, es que, además de conocimientos, las acciones técnicas incluyen otros componentes que no necesariamente tienen una naturaleza cognoscitiva formalizable, en concreto las *habilidades* o capacitaciones de los agentes que ponen en práctica una técnica y las *instrucciones* o *mandatos* que figuran en el manual de operaciones.

En inglés se utilizan las expresiones *know that* y *know how* para expresar dos tipos de saber o de conocimiento,⁸ que podríamos traducir por conocimiento *representacional* y conocimiento *operacional*, *saber que* ocurre tal cosa o que tal objeto tiene tales propiedades, y *saber cómo* se hace tal o cual cosa. El conocimiento que se necesita para aplicar una técnica es de los dos tipos. Necesitamos conocimiento representacional acerca de las propiedades de los objetos que pretendemos transformar o de los instrumentos o máquinas que vamos a utilizar, así como de los resultados que queremos obtener, y conocimiento operacional acerca de cómo actuar para, a partir de una situación dada, obtener el resultado deseado de la forma más eficiente posible. El conocimiento representacional de que disponemos es generalmente de dos tipos: representaciones de hechos individuales y representaciones de propiedades generales, regularidades o leyes. La representación de hechos concretos solemos expresarla o formularla mediante enunciados singulares del tipo “tal y cual cosa tiene en tal momento tal y cual propiedad”. La representación de regularidades o leyes la solemos formular mediante enunciados universales implicativos del tipo “para todo objeto x , si x tiene tal propiedad entonces x tiene también tal otra” o “si un objeto x tiene tal propiedad, entonces habrá otro objeto y que tendrá tal o cual propiedad”, etc. Estos enunciados implicativos (o nomológicos) son muy importantes para entender la estructura del conocimiento operacional.⁹

En efecto, lo que llamamos conocimiento operacional en realidad incluye varias cosas diferentes. Por una parte, el conjunto de las acciones que se pueden realizar en las diversas situaciones o estados de cosas para los que es relevante una tecnología. Por otra, el conjunto de instrucciones ordenadas que hay que se-

⁸ Ryle (1949) dio carta de naturaleza epistemológica a esta distinción.

⁹ Constituyen la base científica de las reglas operacionales (Bunge, 1982).

guir para obtener un resultado determinado a partir de una situación dada. Podemos denominar *reglas* a los enunciados que describen los tipos de acciones que se pueden llevar a cabo en cada situación, e *instrucciones* a los que indican qué reglas hay que aplicar (y en qué orden) para pasar de una situación a otra. En realidad las reglas se pueden formular como conocimiento representacional de las propiedades de los objetos y de las acciones que se pueden realizar sobre esos objetos. Las instrucciones, en cambio, tienen forma de *mandatos*. Una regla tiene la forma: “si en las circunstancias *C* se realiza la acción *A*, el resultado es *R*”, mientras que un mandato tiene la forma “en las circunstancias *C*, si se desea el resultado *R*, *hay que* realizar la acción *A*”. Las reglas tienen, pues, la misma forma que los enunciados representacionales nomológicos, con la diferencia de que se refieren, entre otros hechos o propiedades de los objetos, a un determinado tipo de hechos que son las acciones, mientras que las instrucciones incluyen la misma información que las reglas más algo que podríamos llamar un operador pragmático (la expresión “hay que”), que no puede interpretarse como una representación de objetos, propiedades o hechos.¹⁰ De forma que en realidad el *know how* se reduce a *know that* referido a determinado tipo de hechos, que son las acciones, más instrucciones o mandatos. Pero los mandatos no son una forma de conocimiento: podemos conocer un mandato, instrucción u orden, pero mandar, dar instrucciones o proferir órdenes no es una forma de conocimiento, es más bien un tipo de acción.

Así pues, cuando hablamos de que alguien dispone de determinados conocimientos operacionales o que “sabe cómo” hacer algo o conseguir un objetivo, lo que queremos decir es que tiene un conocimiento representacional de un trozo de la realidad y de las acciones que se pueden llevar a cabo sobre ella y que conoce además una serie de reglas, instrucciones o mandatos cuyo cumplimiento permite o garantiza la consecución del objetivo. ¿Es esto todo lo que se quiere decir cuando se afirma que existe una forma irreducible de “conocimiento práctico”?

En realidad, el uso normal de la expresión “saber cómo” se hace una cosa se confunde con la noción de “saber hacer” esa cosa. Y cuando en contextos tecnológicos nos referimos al saber práctico o al conocimiento práctico solemos confundir ambos conceptos. Por ejemplo: decimos que las técnicas preindustriales se

¹⁰ La distinción entre leyes, reglas e instrucciones se corresponde con la que hace Bunge entre enunciados nomológicos, enunciados nomopragmáticos y reglas (Bunge, 1982, pp. 694-697). Preferimos la terminología aquí utilizada: 1) porque responde mejor al uso del término “regla” en lógica, en lingüística, en inteligencia artificial y en general en contextos tecnológicos; 2) porque resalta la presencia de un componente imperativo (no representacional) en las instrucciones (en las reglas, según la terminología de Bunge).

basaban fundamentalmente en la experiencia práctica de los artesanos, en su “saber hacer”, mientras que las técnicas industriales se basan cada vez más en el conocimiento científico.

Sin embargo, el “saber hacer” y el “saber cómo hacer” son cosas completamente diferentes. Es conocida la anécdota de Piaget, quien pidió a sus colegas del Centro Internacional de Epistemología Genética que le explicaran cómo se anda a cuatro patas. Todos sabían naturalmente andar a gatas, pero ninguno sabía cómo se hacía.¹¹ La situación inversa es igualmente normal: uno puede saber perfectamente cómo se hace una cosa sin ser capaz de hacerla. El maestro de canto sabe cómo debe cantar una soprano, pero él no tiene una voz adecuada para cantar. Un físico (o mejor, un ordenador adecuadamente programado) puede describir todas las jugadas posibles para conseguir carambola en el billar, pero puede ser incapaz de mover el taco de la forma adecuada en cada caso. En realidad, lo que llamamos “saber hacer” no es sólo *saber*, es *poder*, no es (o no sólo es) conocimiento, es capacidad para actuar, mientras que lo que llamamos “saber cómo” hacer algo sí es conocimiento, pero no garantiza la capacidad para hacer.

Seguramente la confusión de ambos conceptos tiene que ver con algo que tienen en común: las dos cosas se aprenden. La diferencia está en que aprendemos cómo se hace una cosa mediante la *instrucción* (la transmisión de información operacional), mientras que aprendemos a hacer esa cosa mediante el *entrenamiento*. El entrenamiento no se reduce a la transmisión y procesamiento de información, incluye además procesos físicos de adaptación (muscular, neuronal, sensitiva, etc.). Podemos instruir a un jugador de billar enseñándole las leyes de la mecánica, las propiedades de elasticidad y fricción de las bolas, el tablero y las bandas de la mesa, las reglas operacionales basadas en esa información y las instrucciones que le permitirán maximizar el número de carambolas consecutivas, etc. Pero para jugar al billar de forma eficiente necesitará además entrenamiento, es decir, ejercitarse en esas operaciones hasta conseguir que la posición de su cuerpo se adapte adecuadamente a las exigencias de posición y dirección del taco en cada caso, que el movimiento de su brazo se adapte a las exigencias de transmisión de energía cinética a las bolas, que su vista se acostumbre a percibir rápidamente la disposición de las bolas y su inteligencia a concebir la secuencia de jugadas más eficiente, etcétera.

¹¹ En Piaget (1974) se describen los resultados de la observación sistemática de este fenómeno en los niños, como parte de una investigación acerca del proceso psicológico de darse cuenta (*la prise de conscience*) de las razones del éxito de acciones que se realizan inconscientemente. El problema vuelve a tratarse en la actualidad desde el punto de vista de las investigaciones en inteligencia artificial: Chapman y Agre (1987).

La distinción entre este componente de habilidad práctica y el componente cognoscitivo del *know how* es fundamental para entender problemas importantes del cambio tecnológico y, en concreto, el problema de la transferencia de tecnologías entre países con tradiciones culturales diferentes: no es un simple asunto de transmisión de información o de conocimientos. Para que un país del Tercer Mundo pueda acceder a una tecnología de un país desarrollado se necesitan al menos tres condiciones: que pueda disponer de los materiales y equipos necesarios, que reciba la información operacional precisa y que disponga de personal capacitado (entrenado) para ponerla en práctica. Nos ocuparemos de este tema más adelante (cap. iv). Señalemos por el momento el hecho comprobado de que en la mayoría de los casos el cuello de botella definitivo para el desarrollo tecnológico de un país es el de la capacitación del personal autóctono.

Terminemos este apartado señalando algunas consecuencias para nuestro enfoque de la filosofía de la técnica: las técnicas son sistemas de acciones. Para aplicar una técnica se requiere disponer de un conjunto de conocimientos representacionales y operacionales más un conjunto de capacidades o habilidades para actuar. Podemos *representar* una técnica como un sistema de conocimientos, reglas e instrucciones. Pero disponer de tal información no implica automáticamente disponer de la técnica; para ello se necesita además la capacidad de ejecutar las instrucciones, y ésta más que una forma de conocimiento es una habilidad. Lo que se suele llamar conocimiento práctico (y en concreto el conocimiento técnico) es en realidad una mezcla de conocimientos representacionales u operacionales y de habilidades o capacidades prácticas adquiridas por entrenamiento.¹²

3. TÉCNICA, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Uno de los temas obligados de la filosofía de la técnica es el de las relaciones entre ciencia y técnica, así como el de la distinción entre técnica y tecnología, que tiene que ver con el anterior.

Ya hemos dicho que reservaremos el término “tecnología” para el tipo de técnicas productivas que incorporan conocimientos y métodos científicos en su diseño y desarrollo. Son precisamente las tecnologías las técnicas que mayor interés

¹² En la actualidad creo que es más adecuado considerar las habilidades como conocimiento práctico no formalizado o tácito, y prefiero utilizar la distinción entre conocimiento técnico primario y secundario para dar cuenta de las peculiaridades del conocimiento técnico. Véase, en la segunda parte, el capítulo “Tipos de conocimiento tecnológico y gestión de la innovación” [MAQ: 2005].

filosófico suscitan, y es la importancia del conocimiento científico en los procesos técnicos a partir de la Revolución Industrial la que justifica el creciente interés de los filósofos de la ciencia por la filosofía de la técnica. Sin embargo, las relaciones entre ciencia y técnica son más complejas de lo que a primera vista pudiera parecer.

Hay tres posibles enfoques de estas relaciones que revelan distintos enfoques filosóficos del fenómeno técnico. El enfoque que denominaremos *intelectualista* considera que las técnicas son aplicaciones de conocimientos, previamente disponibles, a la resolución de problemas prácticos. La tecnología se reduce en último término a ciencia aplicada. La investigación que realiza el tecnólogo para el diseño de un artefacto se limita a aplicar conocimientos científicos relevantes para el problema práctico y a diseñar normas de actuación basadas en esos conocimientos. El enfoque que llamaremos *pragmatista* considera, en cambio, que la base de todo conocimiento es la experiencia práctica (la habilidad técnica) y que los conocimientos científicos son formulaciones teóricas que pretenden fundamentar o explicar esos conocimientos obtenidos a través de la práctica. La ciencia evoluciona a partir de las técnicas, y las tecnologías son complejos técnicos promovidos por las necesidades de organización de la producción industrial, que promueven a su vez nuevos desarrollos de la ciencia.

Seguramente ningún filósofo de la técnica se sentiría a gusto si fuera clasificado como intelectualista o pragmatista puro, aunque en cada uno se pueden observar sesgos de uno u otro tipo. La postura más razonable parece, pues, que debería ser una postura ecléctica que reconozca al mismo tiempo la especificidad de la técnica, como parte de la cultura humana, y su interacción con otras partes como las manifestaciones artísticas o la misma ciencia. Aquí seguiremos este criterio.

Los principales argumentos en contra del intelectualismo son los siguientes: 1) Las técnicas, como ya hemos dicho, incorporan elementos no reducibles a factores cognoscitivos representacionales, como son las habilidades o capacidades técnicas. 2) El diseño de un artefacto o de una técnica no es una simple operación de “aplicación” de conocimientos a situaciones o problemas prácticos definidos de antemano. Por el contrario, por una parte incluye un elemento de invención o de creación práctica (el descubrimiento del problema práctico, la ideación de un nuevo objetivo para la acción) y, por otra parte, el uso de criterios específicos de evaluación, en especial criterios de factibilidad, rendimiento, eficiencia, fiabilidad, etc. En ambos casos se puede utilizar y aplicar el conocimiento científico, pero se hace algo más que eso. 3) El diseño de una técnica no sólo se basa en el conocimiento científico previamente disponible, sino en los resultados de investigaciones

expresamente emprendidas para el propósito técnico. 4) Existen ciencias tecnológicas en sentido estricto, es decir, sistematizaciones de conocimientos científicos orientadas a problemas prácticos (resistencia de materiales) o referidas a la organización de acciones (investigación de operaciones).

En cuanto al enfoque estrictamente pragmatista, baste decir que en realidad es lógicamente inconsistente: si pretendemos que el conocimiento científico no es más que una forma de representar en abstracto la experiencia técnica, habría que preguntarse cuál es la razón de que esa decantación de la experiencia aumente no sólo nuestro conocimiento representacional o teórico de la realidad, sino también las posibilidades de enriquecer la propia experiencia técnica. Dicho en otros términos: si el único contenido informativo del conocimiento científico es el de la experiencia técnica en que se basa, ¿qué sentido tiene que juzguemos las teorías científicas con criterios de verdad, precisión, exactitud, etc., mucho más exigentes que los criterios de utilidad, eficiencia, etc., con que juzgamos los conocimientos operacionales de las técnicas?

En realidad, las relaciones entre ciencia y técnica son mucho más complejas, multifacéticas y problemáticas de lo que permite ver cualquiera de los dos enfoques unilaterales. He aquí un resumen de tales complejidades:

1) El empleo de conocimientos científicos de carácter teórico y abstracto para diseñar y construir artefactos no es específico de las modernas tecnologías industriales. Los principios teóricos de la estática, la hidrostática y la dióptrica ya se utilizaban en la Antigüedad para diseñar y construir máquinas y artefactos de varios tipos.

2) A partir de la Revolución Industrial se generaliza la explotación sistemática de los nuevos conocimientos científicos para aplicarlos a la producción industrial y agrícola (motores, fertilizantes) así como a los servicios (transportes y salud, principalmente), pero sobre todo al diseño de nuevos artefactos o productos de consumo (telégrafo, teléfono, radio, televisión, ordenadores personales, etc.). Sin embargo, no todas las nuevas tecnologías de la sociedad industrial son resultado de aplicaciones directas del conocimiento científico: las máquinas de vapor, por ejemplo, son anteriores a la formulación de la termodinámica.

3) Existen, por lo menos desde el siglo XVIII, formas institucionalizadas de agrupar las profesiones de ingenieros y de organizar la elaboración, sistematización, desarrollo y transmisión de conocimientos específicamente tecnológicos. Éstos generalmente se basan en la ciencia y en el método científico, pero no se reducen a ella (incluyen el aprendizaje y desarrollo de procedimientos operacionales, no sólo de teorías científicas).

4) Tanto en las tecnologías preindustriales como en las industriales la invención, el diseño y la innovación creativa son factores decisivos para el desarrollo de una técnica, y estas operaciones no se pueden entender como simples procesos de aplicación de conocimientos científicos previamente disponibles.

5) Cada vez es más frecuente que la innovación tecnológica sea el motor de la investigación científica tanto de carácter aplicado, para aportar conocimientos que ayuden a resolver problemas tecnológicos, como de carácter básico, para aportar un fondo de conocimientos sobre el que puedan florecer nuevas iniciativas de innovación técnica.

6) Por último, la tecnología ha dado lugar al surgimiento de nuevas ramas de la investigación científica y a nuevas teorías que, como la mecánica en sus orígenes, son al mismo tiempo estrictamente científicas, por su generalidad e incluso su carácter abstracto, y estrictamente tecnológicas, por su carácter eminentemente operacional.¹³ La teoría de la información, la cibernética, la teoría matemática de la decisión, la programación lineal, la investigación operativa, son todas ellas teorías científicas básicas, aunque de carácter tecnológico (se refieren a operaciones técnicas y a artefactos).

Así pues, no hay un único modelo de relaciones entre ciencia y técnica. De forma que cuando reservamos el término *tecnología* a las técnicas en las que el conocimiento científico tiene una importancia especial, debemos ser conscientes de la diversidad de situaciones que caen bajo esta denominación.

Quizá fuera más esclarecedor delimitar este difuso concepto de tecnología atendiendo, más que a la multiforme relación de la tecnología con el conocimiento científico, a las peculiaridades del diseño y desarrollo de las técnicas en las sociedades industrializadas. En efecto, la diferencia fundamental entre las técnicas artesanales y las tecnologías modernas reside, más que en la estructura o el contenido de las mismas, en su dinámica, en lo que podríamos llamar la “lógica de su desarrollo”.

4. EL DESARROLLO TECNOLÓGICO

Uno de los temas importantes de la filosofía de la técnica consiste en el análisis de las formas de evolución de las técnicas y de los problemas planteados por su desarrollo. Hay al menos dos tipos diferentes de cambio tecnológico: la modificación

¹³ Bunge (1985b).

de una técnica y la invención o diseño de una nueva técnica. En cada caso los cambios se pueden producir de diversas formas, en especial por composición de técnicas preexistentes, por incorporación de nuevos conocimientos, diseño de nuevos objetivos, etc. Los factores que influyen en el desarrollo tecnológico pueden ser de un carácter que podemos considerar “interno” (mejora de la eficiencia de un proceso, de la duración de una máquina o de la fiabilidad de un dispositivo), o “externo” (factores sociológicos, demográficos, económicos, culturales, etc.). Y por último, el desarrollo de las técnicas puede revestir diversas formas: puede ser acumulativo o disperso, gradual o a saltos, rápido o lento, caótico o progresivo. El estudio de los procesos de cambio en el desarrollo de las técnicas y de los factores que influyen en él, así como el análisis de categorías como la de progreso técnico, invención, etc., son temas importantes de la filosofía de la técnica.

En relación con el problema del apartado anterior, señalemos una posible consecuencia del análisis de las formas de desarrollo técnico para precisar la distinción entre técnicas precientíficas y tecnologías científicas:

A) Frente al desarrollo de las técnicas preindustriales, el desarrollo tecnológico está presidido por la búsqueda sistemática de procedimientos y bases teóricas para *maximizar los criterios de eficiencia* técnica (y los relacionados de efectividad y fiabilidad). Una parte decisiva del papel del conocimiento y la investigación científica en el desarrollo tecnológico se debe a este principio de maximización de la eficiencia: ésta se logra utilizando los medios *más adecuados* para conseguir un fin propuesto. Y ello depende de dos cosas: de que conozcamos mejor la realidad que pretendemos transformar, y de que conozcamos mejor las consecuencias derivadas de las transformaciones de la realidad que nos proponemos hacer en un proyecto tecnológico. En ambos casos la solución es incrementar nuestro conocimiento de la realidad utilizando el método científico.

B) La segunda razón para que aumente la importancia del factor científico en los sistemas tecnológicos se debe a otra característica de la “lógica” de su desarrollo: la vigencia del *imperativo de innovación constante*. En general el desarrollo técnico está presidido por la innovación. La innovación no es un accidente en la historia de la técnica, es una constante. Pero mientras en las técnicas preindustriales la innovación se produce generalmente como consecuencia de la maduración interna de la propia técnica, en la tecnología actual la innovación es un imperativo con el que se cuenta de antemano. Una técnica tradicional se diseñaba (y se enseñaba y ponía en práctica) como si fuera “para toda la vida”. En el diseño tecnológico actual los artefactos se diseñan “para ser mejorados” de inmediato,

en ingeniería civil se tiende a investigar una solución específica para cada problema y cualquier proyecto tecnológico de envergadura, aunque sea de un tipo para el que se dispone de técnicas bien contrastadas, supone el inicio de un proceso de investigaciones y ensayos que permitan encontrar una solución original y completamente adaptada a la situación. Curiosamente, frente a la opinión más extendida, las técnicas tradicionales suelen ser rígidas, mientras que las tecnologías modernas se hacen cada vez más “a la medida”, lo que supone un continuo caudal de innovaciones y de investigaciones *ad hoc*. Ésta es otra de las vías para vincular el conocimiento científico a la tecnología: la ciencia es un reservorio de ideas y un medio para la innovación racional.

Así pues, las dos notas características de las tecnologías modernas serán la preeminencia del principio de *maximización de la eficiencia* y del *imperativo de innovación*. Y ellas son la causa de las múltiples formas de imbricación con la ciencia que caracterizan a la tecnología.

5. TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD

Es obvio que los rasgos característicos de la tecnología moderna no son ajenos al papel que ésta desempeña en el sistema productivo y a las leyes económicas que imperan en él.¹⁴ La maximización de la eficiencia puede tener un valor económico evidente en una economía competitiva; y el imperativo de innovación, más allá de ser un factor interno al desarrollo de los sistemas tecnológicos, es también, casi siempre, una restricción impuesta por las leyes del mercado y una forma universalmente aceptada de generar beneficios y aumentar la competitividad de un sector productivo por la vía del incremento de la oferta de productos y servicios. Pero sería ilegítimo extraer de aquí la conclusión de que existe una sintonía perfecta entre la lógica del desarrollo tecnológico y las leyes del mercado en una economía capitalista. Por el contrario, los conflictos entre los valores de eficiencia tecnológica y los de utilidad económica son continuos, salvo que *a priori* se decreta que la eficiencia es por definición equivalente a la utilidad. Pensemos, por ejemplo, en el debate respecto a la tecnología de la fisión nuclear para la produc-

¹⁴ Schiller (1986), Braun (1986). La obra de Noble (1987) demuestra la inextricable interdependencia de las transformaciones tecnológicas y sociales que se produjeron en los Estados Unidos a finales del siglo xix y principios del xx (la “segunda revolución industrial”) y analiza el papel de los ingenieros como artífices del doble cambio, tecnológico y social, operado por la aparición del “capitalismo monopolista”.

ción de energía eléctrica: la discusión se plantea principalmente en términos de eficiencia tecnológica, aunque la cuestión subyacente sea de política económica. Y por lo que se refiere al imperativo de innovación, es obvio que puede ser económicamente funcional en determinados sectores productivos y disfuncional en otros: en general, facilita la realización de beneficios en sectores donde las inversiones en capital fijo tienen un ciclo corto de realización, pero arruina a sectores que requieren largos periodos de amortización del capital.

Con la técnica bajo el capitalismo sucede lo mismo que con cualquier otro aspecto de la cultura actual: el capitalismo la ha hecho posible y la ha adulterado, ha abierto las puertas a la creatividad, al bienestar y a la belleza y ha procurado siempre someterlo todo a la ley del máximo beneficio. Por suerte o por desgracia, la tecnología, como la pintura, la literatura, la religión o el deporte, ni es ajena al resto de las actividades sociales ni se limita a reflejar mecánicamente las necesidades de otras partes de la estructura social. La tecnología actual es inseparable de la ciencia y de la industria, y ésta es una de las principales actividades económicas. Pero estaríamos ciegos si pretendiéramos reducir todos los problemas del desarrollo tecnológico y también todos los valores o disvalores que en él se encierran a los problemas de la economía y a los valores y disvalores de la actividad económica.

III. FUNDAMENTOS DE LA ONTOLOGÍA DE LA TÉCNICA

EN EL capítulo anterior hemos caracterizado intuitivamente las técnicas y hemos utilizado conceptos como el de acción, acción intencional, sistema de acciones, objeto concreto, etc., cuyo significado es preciso aclarar. En el presente capítulo utilizaremos, para este propósito, la teoría de sistemas, usual en algunas ontologías científicas.¹ Definiremos, pues, en primer lugar, la noción de sistema, después la de acción y sistema de acciones y por último la noción de artefacto, central en la ontología de la técnica (los resultados de una técnica son artefactos). Estas nociones constituyen el marco conceptual básico para la definición de la noción de sistema técnico que acometeremos en el próximo capítulo.²

1. SISTEMAS

En matemáticas la noción de sistema abstracto es equivalente a la de estructura matemática y se caracteriza como un conjunto entre cuyos miembros se ha definido al menos una relación. En ontología científica un sistema concreto es una cosa que se caracteriza por sus componentes, su estructura y su entorno. La estructura del sistema consiste en el conjunto de propiedades o relaciones que se dan entre sus componentes y entre éstos y el entorno. El entorno está formado por otros sistemas que se relacionan con él. La estructura de cualquier sistema concreto se puede representar mediante una estructura matemática. Cualquier objeto concreto que no sea una entidad simple se puede considerar un sistema.

Por ejemplo: un ordenador personal es un objeto que caracterizamos por sus componentes: dispositivos de entrada (el teclado), de salida (el monitor y la im-

¹ Utilizamos en especial la ontología científica de M. Bunge (1977b), basada en la teoría de sistemas. El concepto de acoplamiento está basado en Wojciski (1979). Aracil (1986) trata, desde la misma perspectiva de la teoría de sistemas, cuestiones de filosofía y ontología de la técnica, en especial de teoría de las máquinas.

² La redacción de este capítulo difiere sustancialmente de la primera edición, ya que hemos prescindido, en lo posible, de fórmulas y expresiones simbólicas que hemos incluido en el anexo, siguiendo indicaciones de los editores, para facilitar la lectura del texto principal [MAQ: 2005].

presora), el sistema procesador de datos (CPU), la memoria, etc. Las propiedades relevantes las describimos como propiedades de sus componentes o relaciones entre ellos y con su entorno. Por ejemplo: propiedades referidas al teclado pueden ser el tipo de teclado, el número de teclas, el número de teclas definibles por el usuario, etc. Referidas a la impresora: *buffer* de impresora, conexión en serie o en paralelo, número de caracteres imprimibles por segundo, velocidad de transferencia de bits de la unidad central a la impresora, etc... Referidas a la CPU: número de bits por palabra (8, 16, 32), velocidad de procesamiento en megahercios, etc. Algunas de estas propiedades son cualitativas (tipo de teclado), otras, cuantitativas (capacidad de la memoria RAM); algunas son propiedades de uno de los componentes (número de teclas), otras son relaciones entre sus componentes (tipo de conexión de la impresora), o entre el sistema y su entorno (teclas definibles por el usuario), y finalmente otras propiedades se definen tomando el tiempo como referencia (velocidad de transmisión y de procesamiento).

Para poder hablar de los sistemas concretos, sus propiedades, su estructura, sus relaciones con el entorno, etc., tenemos que usar representaciones de esos sistemas. Un mismo sistema se puede caracterizar de formas alternativas, según el conjunto de propiedades que nos interesen (o que seamos capaces de representar de forma precisa) de acuerdo con el contexto conceptual que estemos utilizando. Por ejemplo: las representaciones de un ordenador que hacen el publicista, el economista, el ingeniero electrónico y el informático suelen variar bastante (generalmente para desgracia del usuario). En general, la representación de un sistema se hace dentro de un contexto conceptual (es decir, un conjunto de conceptos con los cuales podemos representar las propiedades del sistema), que a su vez seleccionamos de acuerdo con lo que consideramos relevante del sistema para nuestros propósitos teóricos o prácticos. Por ejemplo: la representación que un economista se hace de un ordenador incluye propiedades como precio de producción, precio de venta, valor añadido, etc., completamente ajenas a las del informático. Relacionadas con la noción de sistema están las siguientes.

Subsistema: Es un sistema que forma parte de otro sistema. Por ejemplo, la cultura es un subsistema de cualquier sistema social, el sistema neuronal es un subsistema de cualquier organismo superior, la CPU es un subsistema de cualquier ordenador personal, etcétera.

Variante de un sistema: Un sistema es una variante de otro sistema si ambos tienen la misma estructura, pero los valores de sus variables (de sus propiedades)

no son idénticos. Por ejemplo: un ordenador personal idéntico a otro en todo menos en su capacidad de memoria es una variante del mismo.

Expansión de un sistema: Un sistema S' es una expansión de S si es el resultado de añadir a S al menos una propiedad (relación) nueva. Por ejemplo: un ordenador personal al que se le ha dotado de un sintetizador de sonido es una expansión del sistema original. La recíproca de la expansión de un sistema es la:

Reducción de un sistema: Si S' es la expansión de S , entonces S es la reducción de S' . Podemos agrupar los dos conceptos en el de:

Modificación de un sistema: Un sistema es la modificación (si se prefiere, el resultado de la modificación) de otro si es o bien una expansión o bien una reducción del mismo. Generalmente una modificación de un sistema comporta una variación en sus componentes, pero no siempre es necesario. Por ejemplo: conectando los componentes del sistema de diversa forma (con el *software* adecuado) se puede hacer que un ordenador personal funcione como una máquina de escribir con escritura directa del teclado a algunos tipos de impresora.

Un *modelo* de un sistema es otro sistema que se parece a él, en el sentido de que tiene un número de componentes igual o menor que él y se puede establecer una correspondencia entre la estructura (o propiedades) del sistema original y las del modelo.

Equivalencia de sistemas: Dos sistemas son equivalentes si tienen la misma composición y la misma estructura. Por ejemplo: dos ordenadores con el mismo tipo de componentes y las mismas propiedades son equivalentes. Obviamente, un modelo de un sistema no es equivalente a él. En concreto, los modelos a escala son homomorfismos, no isomorfismos. Y el diagrama que representa los circuitos de un ordenador es un modelo del ordenador, no un ordenador.

Hasta aquí las nociones básicas para caracterizar sistemas. Veamos ahora las de estado y acontecimiento en un sistema.

2. ESTADOS Y ACONTECIMIENTOS

Cualquier cosa concreta, en cualquier momento de su duración, se encuentra en un estado determinado. Ese estado se puede representar por los valores que tienen en ese momento las variables que representan las propiedades del sistema. Cuando decimos, por ejemplo, que el ordenador está “encendido” en el momento actual, podemos entender esto como un resumen de una larga lista de propieda-

des del sistema cuyo valor se corresponde con el estado de “encendido” (corriente de 12 voltios a la entrada, reloj interno funcionando a x megahercios, procesador activado, *buffer* de datos cargado, etcétera).

Para representar el estado de un sistema podemos utilizar la herramienta conceptual del *espacio de estados*. Se trata de un espacio de coordenadas cartesianas en el que cada eje representa una propiedad relevante del sistema y los puntos del espacio representan estados teóricamente posibles. Por consiguiente para representar el estado de un sistema con n propiedades se necesita un espacio de n dimensiones. La diferencia entre dos estados se puede medir por la *distancia* que separa a los puntos que los representan en el espacio de estados.

Un *acontecimiento* que se produce en un sistema es un cambio en su estado y se puede representar como un par de estados (estado inicial y estado final) que se suceden en un intervalo de tiempo (su *duración*). La representación de un acontecimiento en un sistema de n propiedades requiere un espacio de $n + 1$ dimensiones, para poder introducir la coordenada que representa el tiempo.

Dos acontecimientos en un sistema están *concatenados* si el estado final del primero es el estado inicial del segundo. Un *proceso* en un sistema es una secuencia de acontecimientos concatenados. Un proceso se puede representar en el espacio de estados como una curva o gráfica que recorre los puntos por los que pasa el sistema a lo largo del tiempo que dura el proceso.

3. REGULARIDADES

El comportamiento de un sistema puede presentar dos tipos de regularidades: estructurales y dinámicas. Una regularidad es una propiedad de segundo orden, es decir, una propiedad de las propiedades del sistema (el que éstas se mantengan dentro de ciertos límites cuantitativos, o el que existan determinadas relaciones entre los valores de cada una de ellas). Una regularidad es *estructural* si es independiente del tiempo, *dinámica* si depende del tiempo.

Las regularidades de un sistema restringen el espacio de estados y acontecimientos matemáticamente posibles a un subconjunto, el de los realmente (o legalmente) posibles.

Supongamos una descripción de la dentadura de una persona mediante las propiedades que indican el número de incisivos, caninos, molares y premolares. Una regularidad estructural establece que los valores de estas propiedades varían

dentro de unos límites cuantitativos, y una regularidad dinámica establece los cambios que se operan en estas variables durante la etapa de desarrollo.

En contextos científicos las regularidades de un sistema se representan por funciones compuestas que correlacionan valores de las variables de estado, para cualquier estado en un momento dado, o en estados sucesivos. En ambos casos a los enunciados que describen estas regularidades los llamamos las *leyes* del sistema y son enunciados universales del tipo: “si el sistema tiene la propiedad P con el valor r , entonces tiene también la propiedad P' con el valor r' ” (leyes estructurales); o bien, “si el sistema tiene la propiedad P con valor r en el momento t , entonces tendrá la propiedad P' con valor r' en el momento $t' > t$ ”.

Principio de regularidad: En la ciencia se considera como supuesto básico que todos los sistemas están sometidos a regularidades. Las regularidades pueden ser deterministas o estocásticas. Una regularidad determinista establece una dependencia fija entre estados; una regularidad estocástica establece una dependencia con determinado valor de probabilidad.

Tomando en cuenta el principio de regularidad, cuando nos referimos al espacio de estados de un sistema deberá entenderse el espacio de *estados realmente posibles* (compatibles con las regularidades estructurales del sistema), y cuando nos refiramos al conjunto de los acontecimientos deberá entenderse los *acontecimientos realmente posibles*, es decir, compatibles con las regularidades dinámicas. Desde esta perspectiva, tiene sentido definir la noción de dependencia y la de consecuencia de un acontecimiento.

Consecuencias de un acontecimiento: Diremos en primer lugar que en el conjunto de los acontecimientos regulares de un sistema el acontecimiento a_n *depende* de a_1 si, y sólo si, hay una concatenación regular de acontecimientos que se inicia en a_1 y termina en a_n . Y definimos el conjunto de las *consecuencias* de un acontecimiento como el conjunto de los acontecimientos que dependen de él. Por consiguiente, un *proceso regular* en un sistema se puede entender como el conjunto de las consecuencias del acontecimiento que dio origen al proceso.

Un proceso regular es *reversible* si a partir de su estado final hay otro proceso regular que termina recuperando el estado inicial del sistema. En caso contrario decimos que el proceso es *irreversible*.

Las repercusiones del principio de regularidad para la metodología de la ciencia son importantes. Si un sistema no presenta un comportamiento regular, hay que buscar una explicación. Para ello o bien hay que mejorar la descripción del sistema o bien hay que encontrar otro sistema que esté influyendo sobre él. Con ello aludimos al concepto de *acción de un sistema sobre otro* y otros concep-

tos relacionados de los que nos ocuparemos a continuación. Pero antes definamos algunas propiedades y clases de acontecimientos que nos serán útiles.

4. PROPIEDADES Y CLASES DE ACONTECIMIENTOS

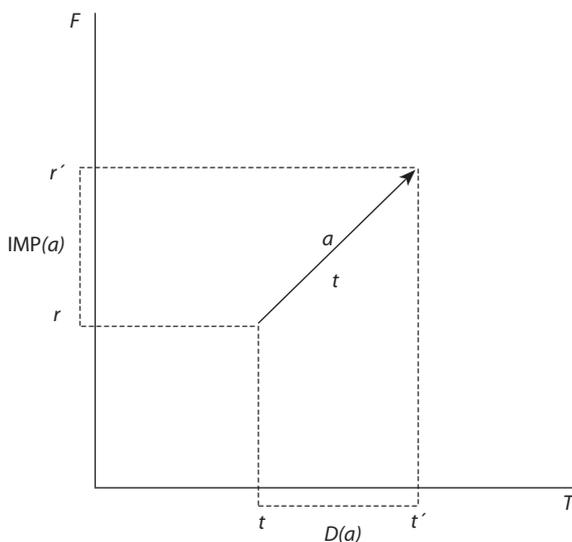
Podemos agrupar todos los acontecimientos realmente posibles de un sistema en clases de acontecimientos en función del subconjunto de propiedades involucradas en los correspondientes cambios de estado. Por ejemplo: el predicado “cambiar de posición” designa el subconjunto de acontecimientos cuyo resultado es una variación de los valores de las variables de posición espacial de un sistema. El predicado “calentarse” designa la clase de acontecimientos que consisten en una variación positiva de la temperatura de un sistema. El predicado relacional “arrancar una máquina” designa la clase de acontecimientos que se producen en las máquinas consistentes en pasar del estado inicial “en reposo” al estado final “en funcionamiento”.

Para un sistema caracterizado por n propiedades, puede haber en principio 2^n clases de acontecimientos, consistentes en el cambio de estado de los 2^n subconjuntos de propiedades que pueden cambiar. De ellas habrá n clases correspondientes a *acontecimientos elementales*, consistentes en el cambio de estado de cada una de las n variables. Naturalmente, muchos de estos cambios teóricamente posibles no lo serán en la práctica por las restricciones que imponen las leyes o regularidades del sistema.

Atendiendo no a las propiedades que cambian en un acontecimiento sino a la cantidad de cambio, se pueden definir algunas otras propiedades relevantes. Entre ellas, la que podemos llamar *importancia de un acontecimiento*, que definimos como la distancia entre el estado inicial y el estado final en el espacio de estados del sistema en el que se produce el acontecimiento. También podemos definir la *intensidad* de un acontecimiento como el cociente de su importancia por su duración.

A veces utilizamos nombres para clases de clases de acontecimientos, es decir, tipos de acontecimientos. Por ejemplo, una *catástrofe* es un cambio de gran magnitud e intensidad que afecta a la mayor parte de las variables que caracterizan a un sistema.

Un tipo especialmente relevante de acontecimientos son aquellos que consisten en la producción de un *cambio cualitativo* en el sistema. Un cambio cualitativo supone la aparición de al menos una propiedad nueva en el sistema, por consiguiente, constituye una modificación del sistema. La representación vectorial de los

FIGURA III.1. *Propiedades de un acontecimiento.*

cambios cualitativos se puede hacer considerando el espacio de estados del sistema inicial como un subespacio del espacio de estados del sistema terminal (que tendrá al menos una nueva dimensión para representar una nueva cualidad).

5. SISTEMAS COMPLEJOS Y ACCIONES ENTRE SISTEMAS

Hasta ahora hemos prescindido del entorno de un sistema para caracterizarlo. Atendiendo al entorno podemos clasificar los sistemas en cerrados y abiertos. Un sistema es cerrado si no interactúa con su entorno. De lo contrario, es abierto. El entorno de un sistema está formado por otros sistemas sobre los que actúa o que actúan sobre él. Cuando la interacción entre dos sistemas es estable, decimos que forman un sistema complejo.

La regularidad más característica de dos sistemas S , S' que forman un sistema complejo es el *acoplamiento*. Decimos que S y S' están acoplados si existe al menos una regularidad estructural que pone en correspondencia los valores de al menos una de las propiedades de S con los de al menos una de las propiedades de S' .

El acoplamiento así definido no es simétrico. Si hay además un acoplamiento inverso de S' a S entonces decimos que los dos sistemas están en realimentación o *feedback*.

Desde una perspectiva dinámica, la relación entre dos subsistemas de un sistema complejo es la acción de uno sobre otro (la interacción si la acción es recíproca), que podemos denominar también *acoplamiento dinámico*. Un sistema abierto constituye (parte del) entorno de otro durante un intervalo temporal si está dinámicamente acoplado a él. Y a la inversa, un sistema abierto está dinámicamente acoplado a su entorno si influye sobre éste. Si un sistema no influye sobre otro ni es influido por otro, en ningún intervalo de su duración, entonces es un sistema cerrado. (De acuerdo con la ontología de Bunge (1977b), sin embargo, hay que advertir que el único sistema cerrado existente es el Universo en su totalidad.)

Con este utillaje conceptual podemos dar una definición precisa de una noción básica para la filosofía de la tecnología, la noción de *acción* de un sistema sobre otro. En efecto, diremos que el sistema S' (el *agente*) *actúa* sobre el sistema S' (el *paciente*) si se dan las siguientes condiciones:

- i) En el sistema agente se produce un acontecimiento al que llamamos *causa*.
- ii) En el sistema paciente se produce un acontecimiento al que llamamos *efecto*.
- iii) Existen leyes o *regularidades* que permiten afirmar que, en el estado inicial en que se encontraba el sistema paciente, sin presencia de la causa, no se hubiera producido el efecto.

Podemos utilizar los siguientes conceptos para caracterizar diversos aspectos de la acción de un sistema sobre otro:

- Sistema *agente*: el que realiza la acción.
- Sistema *paciente*: sobre el que se realiza la acción.
- *Causa*: un acontecimiento o cambio de estado en el agente que produce otro acontecimiento o cambio de estado en el paciente.
- *Efecto*: el acontecimiento o cambio de estado producido en el paciente por la causa del agente.
- *Condiciones iniciales* de la acción: el estado inicial en que se encuentra el sistema compuesto por el agente y el paciente en el momento de iniciarse la acción.
- *Resultado de la acción*: el estado final en el que se encuentra el sistema compuesto por el agente y el paciente una vez realizada la acción.
- *Resultado neto*: el estado final del paciente de la acción.

Por ejemplo, supongamos un sistema compuesto de dos sistemas acoplados: un termostato y una caldera de calefacción. En el estado inicial el termostato está en reposo y la caldera está en reposo. En determinado momento la temperatura ambiental disminuye, lo que hace que el termostato pase al estado de conexión. Este acontecimiento es la causa de que la caldera pase a su vez del estado de reposo al de funcionamiento, lo que constituye el efecto de la acción. El resultado de la acción es que el agente se encuentra conectado y el paciente en funcionamiento al final de la acción.

Podemos distinguir acciones simples y compuestas. Una acción es una *acción simple* si en ella intervienen solamente un sistema agente y un sistema paciente. De lo contrario es una acción compuesta.

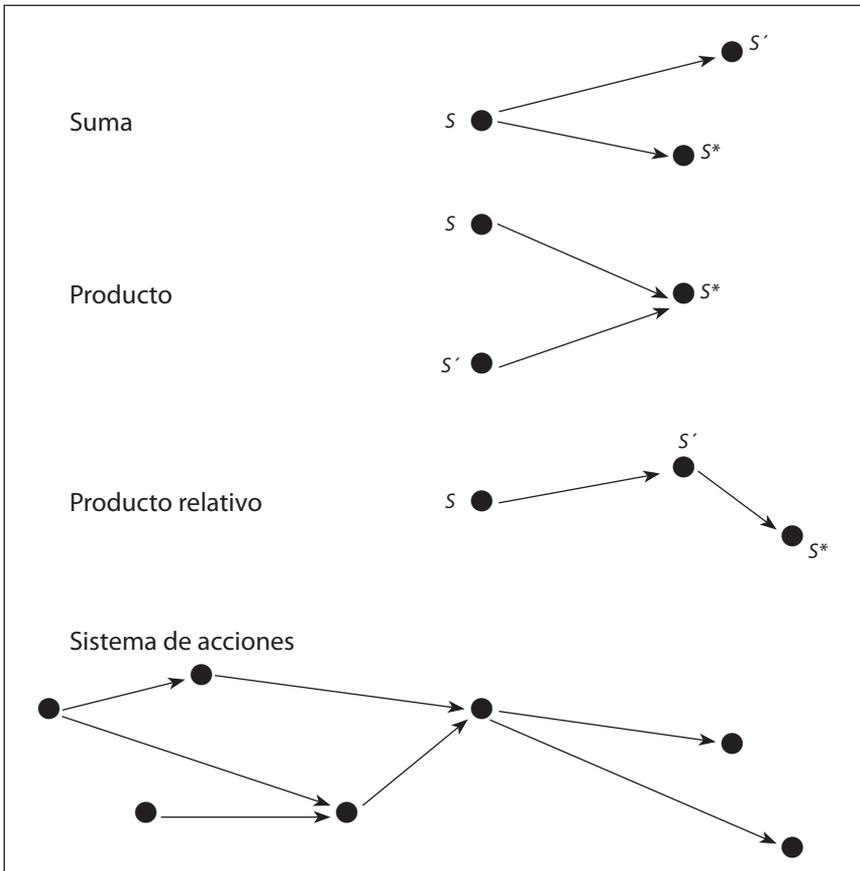


FIGURA III.2. Acciones compuestas.

Hay diversos tipos de acciones compuestas:

Suma de acciones: cuando la causa de la acción compuesta es un acontecimiento en un solo sistema y el efecto se produce en varios sistemas.

Producto de acciones: cuando varias causas de diferentes sistemas agentes producen un efecto en un único sistema.

Producto relativo de acciones: cuando el efecto producido en el sistema paciente de una acción es la causa de otra acción de éste sobre un tercero.

Sistema de acciones: un conjunto de acciones compuestas conectadas entre sí, de tal forma que cualquier acción es causa o efecto de alguna otra dentro del conjunto.

Otras nociones importantes son las de consecuencia de una acción y dependencia entre acciones.

Teniendo en cuenta que las acciones son acontecimientos complejos, formados por un acontecimiento causa y un acontecimiento efecto, podemos utilizar la noción de *dependencia de acontecimientos*, que hemos definido más arriba, para distinguir dos tipos de consecuencias de una acción: directas e indirectas. Diremos que un acontecimiento a es una *consecuencia directa* de una acción A si (y sólo si) depende del efecto de A (y por lo tanto también de su causa); será una *consecuencia indirecta* (o colateral) de A si depende de la causa de A , pero no de su efecto. Y en general un acontecimiento es una consecuencia de una acción si depende de la causa o del efecto de la acción.

Las consecuencias de una acción pueden ser a su vez acciones. Definiremos, pues, la *dependencia de acciones*: dadas dos acciones A, A' , diremos que A' depende de A si, y sólo si, la causa de A' o el efecto de A' o ambos dependen de A . Representaremos simbólicamente esta relación con $A \rightarrow A'$.

La dependencia entre acciones puede ser de diferente *orden* o grado: dada una relación de dependencia entre dos acciones $A \rightarrow A'$, diremos que:

A' depende de A en grado 1 si, y sólo si, no hay ninguna acción X distinta de A y de A' tal que $A \rightarrow X \rightarrow A'$.

Si hay una acción X tal que A' depende de X en grado 1 y X depende de A en grado n , entonces A' depende de A en grado $n + 1$.

La noción de orden o grado de dependencia se puede extrapolar para definir la de *orden de las consecuencias de una acción*. Las consecuencias de una acción que depende de otra son también consecuencias de ésta, pero de un orden diferente: un acontecimiento a es una consecuencia de primer orden de una acción A si es una

consecuencia de A y no hay ninguna acción X tal que $A \rightarrow X$ y a sea una consecuencia de X . Por otra parte, si a es una consecuencia de primer orden de una acción X que depende en grado n de A , entonces a es una consecuencia de orden $n + 1$ de A .

Esta jerarquía de la dependencia entre acciones y de sus consecuencias es importante para entender algunas peculiaridades de la causalidad en sistemas complejos de acciones. Un ejemplo conocido es la paradoja de la causalidad histórica: por una herradura se perdió un caballo, por un caballo se perdió un general, por un general se perdió una batalla, por una batalla se perdió una guerra, por una guerra se perdió un imperio, luego, por una herradura se perdió un imperio. La paradoja desaparece si tenemos en cuenta que la relación causal que se afirma en la conclusión del razonamiento es de orden prácticamente infinito (para llegar desde la herradura hasta la pérdida del imperio han tenido que pasar muchísimas más cosas que las que se cuentan) y por lo tanto deberíamos considerarla de valor prácticamente nulo. En el capítulo VI veremos la aplicación de estas nociones al análisis de las consecuencias sociales de las tecnologías.

6. PROPIEDADES Y TIPOS DE ACCIONES

Las nociones de magnitud y duración de acontecimientos son directamente aplicables a las acciones tomando como referencia el espacio de estados del sistema complejo en el que se producen las acciones, y de forma similar se pueden definir clases de acciones equivalentes. Resulta más útil, sin embargo, caracterizar acciones combinando las propiedades de las causas y de los efectos. La acción de calentar un objeto, por ejemplo, puede ser muy diferente según se lleve a cabo aplicando fuego, poniéndolo al sol o frotándolo. Las diferencias entre estas diversas formas de llevar a cabo una misma clase de acción tienen que ver con la proporción entre la magnitud o importancia de la causa y las del efecto. Éstas se pueden comparar siempre que las variables con respecto a las cuales definamos las propiedades de la causa y del efecto sean comparables.

Una propiedad interesante es la que denominaremos el rendimiento (o productividad) de una acción. Supongamos que la variable de estado F_i nos permite comparar la importancia de la causa y el efecto de una acción. Podemos definir entonces el *rendimiento de una acción* respecto a la variable F_i como la razón de la importancia del efecto ($IMP_i(E)$) a la importancia de la causa ($IMP_i(C)$):

$$REN_i(A) = IMP_i(E) / IMP_i(C)$$

Esta noción de rendimiento es una generalización de la noción de eficiencia termodinámica, que mide la proporción de energía transformada en trabajo respecto al total de la energía consumida por un dispositivo. Pero aquí no asumimos que la importancia del efecto relativa a una variable tenga que ser una fracción de la importancia de la causa relativa a la misma variable: el valor de $REN_i(A)$ puede ser mayor que 1. De ahí que REN pueda interpretarse como una medida de la *productividad* de una acción respecto a una variable. (Precisamente lo que hacen los economistas al utilizar los precios del producto y de los factores de producción para medir la productividad del trabajo es estimar el rendimiento de la acción de transformación operada por la fuerza de trabajo sobre los bienes de capital en términos de valores económicos que permiten generalizar la noción de rendimiento.)

Otra propiedad interesante puede ser la proporción entre la intensidad del efecto y la de la causa. Un nombre adecuado para ella sería el de la fuerza de una acción (que no debe confundirse con la noción física de fuerza):

$$FUE_i(A) = INT_i(E) / INT_i(C)$$

7. ACCIÓN INTENCIONAL

En filosofía de la técnica nos interesan especialmente (aunque no exclusivamente) las acciones intencionales. Para poder decir que un individuo o sistema actúa intencionalmente es preciso suponer que es capaz de representarse conceptualmente la realidad y de tener creencias acerca de ésta, que es capaz de asignar valores a determinados estados, acontecimientos o cosas y de desear que se realicen los que considera más valiosos, y que es capaz de tomar decisiones espontáneamente basándose en sus representaciones, valoraciones y deseos. Aunque el significado de estas “capacidades” no es en absoluto nítido y hay continuos debates filosóficos en torno a estos conceptos, aquí supondremos por el momento que todas ellas son características precisamente de los individuos humanos, y las entenderemos en su sentido más común, dejando abierta la cuestión de si es posible atribuir las mismas capacidades a otro tipo de entidades. Garantizada, pues, la existencia de entidades capaces de actuar intencionalmente, definimos una acción intencional en los siguientes términos:

$A(X, S, O, R)$ es una *acción intencional* del sistema X sobre el sistema S con la intención o el objetivo O y resultado R sii:

- i) $A(X, S, R)$ es una acción de X sobre S con resultado R .
- ii) X es una entidad con capacidad para tener creencias y deseos o fines, establecer valoraciones y tomar decisiones.
- iii) X desea que se realice el estado de cosas O .
- iv) X tiene una representación de la acción $A(X, S, R)$ y cree que tal acción es posible.
- v) X cree que O está incluido en R .

Nuestra definición de acción intencional pone el énfasis en dos puntos significativos. En primer lugar, una acción intencional es una acción de un sistema sobre otro sistema, como cualquier otra acción. En segundo lugar, lo específico de la acción intencional es que el agente tiene una representación de su acción y en especial de los resultados de su acción que puede o no ser correcta, y es esta posibilidad de error o inadecuación entre la acción efectiva y la representación de la acción la que plantea todos los problemas epistemológicos y praxiológicos de la acción intencional o humana.

Aquí nos interesa, sin embargo, el problema de la intencionalidad de las acciones compuestas. Naturalmente, la suma, el producto, el producto relativo o la concatenación de dos acciones intencionales constituyen una acción; pero ésta no tiene por qué ser necesariamente intencional. En contextos morales y jurídicos, donde la responsabilidad por una acción depende en gran parte de la intencionalidad, no se imputan automáticamente las consecuencias de una acción intencional al agente de la acción, a no ser que se pueda establecer independientemente la intencionalidad de producir esas consecuencias, es decir, la intencionalidad en la acción compuesta por la acción original y los acontecimientos concatenados con ella. En el producto de acciones de individuos diferentes sobre un mismo sistema es obvio que cada una de las acciones puede ser intencional y no serlo el producto de todas ellas: la formación de un gobierno del partido ganador en unas elecciones es el resultado de todas las acciones de votar en las urnas, cada una de las cuales fue intencional, pero obviamente no todas tenían la misma intencionalidad. Más aún, hay muchas acciones compuestas de acciones intencionales en las que el resultado no es el objetivo intencional de ninguno de los agentes: muchos individuos que pasan por un mismo sitio terminan haciendo un camino, aunque ninguno de ellos se lo propusiera. Por lo demás, es obvio que la suma o concatenación de las acciones intencionales de un individuo (su biografía) puede no ser intencional (la mayoría de los héroes nunca se propusieron serlo). En general, cualquier sistema de acciones intencionales puede ser un sistema no intencional de acciones.

La cuestión es si puede haber sistemas intencionales de acciones y en qué condiciones. Obsérvese, en primer lugar, que la definición de acción intencional involucra operaciones mentales que sólo son predicables de los individuos, mientras que el concepto de acción se aplica también a conjuntos de individuos en el caso de acciones compuestas y, por lo tanto, en general, en el caso de sistemas de acciones; y en segundo lugar, que la composición de acciones afecta a los resultados, mientras que la intencionalidad se refiere a los objetivos, es decir, a una representación de los resultados, pero las representaciones no tienen por qué coincidir siempre con la realidad. De forma que para que una acción compuesta sea intencional, lo decisivo es que la acción compuesta en cuanto tal (no sus componentes) cumpla las condiciones de la definición de acción intencional. En el caso de un producto intencional de acciones intencionales, nos encontramos con un tipo específico de acción intencional al que denominaremos cooperación.

8. COOPERACIÓN

Dado el producto de dos acciones de los agentes X y Y sobre el paciente S , con objetivos O y O' , decimos que se trata de un *producto intencional* de acciones si se cumplen las siguientes condiciones:

- i) Los dos agentes tienen una representación de la acción compuesta, de sus componentes y de su resultado, y creen que esa acción compuesta es posible.
- ii) Los dos agentes tienen un objetivo compartido $C \subseteq O \cap O'$ que está incluido en los objetivos de sus respectivas acciones componentes
- iii) Los dos agentes creen que C está incluido en el resultado de la acción compuesta.

En tal caso decimos que el producto de las dos acciones es una *cooperación* de X y Y sobre el sistema S con el objetivo común C . La cooperación intencional requiere, por lo tanto, de una representación por parte de cada agente del conjunto de las acciones involucradas.

La noción de cooperación se puede extender desde el producto de dos acciones intencionales a todo un sistema de acciones. Un sistema de acciones es un *sistema cooperativo* si es un sistema intencional y todos los productos de acciones intencionales que incluye son cooperativos.

Lo contrario de la cooperación es la *confrontación*. Dos sistemas de acciones intencionales están mutuamente confrontados si sus respectivos objetivos son incompatibles, y por lo tanto $O \cap O' = \emptyset$. Dada la definición de producto intencional, se sigue que dos acciones confrontadas no pueden constituir un producto intencional y, por lo tanto, tampoco un sistema intencional, aunque sí un sistema no intencional de sistemas intencionales. Una competición o una guerra son sistemas de acciones de este tipo: todas las acciones son intencionales, pero no constituyen un único sistema intencional, sino al menos dos: uno para cada rival. A cada uno de los sistemas intencionales de acciones intencionales que componen un juego de competición los llamamos estrategias. La guerra, que es el paradigma de la confrontación, nos suministra la terminología.

Una *estrategia* o sistema intencional de acciones intencionales recibe también el nombre de *plan de acción*. La ejecución de un plan de acción equivale a la ejecución intencional de un sistema de acciones intencionales y requiere, por lo tanto, un agente o conjunto de agentes que adopten el plan como esquema o representación anticipada de su propio sistema de acciones.

Volveremos sobre esto más adelante. Ahora tenemos que ocuparnos de los efectos de las acciones intencionales: los artefactos.

9. ARTEFACTOS

El resultado de una acción sobre un sistema concreto S puede ser un acontecimiento elemental en S (es decir, la “preparación” de un estado de S), un proceso en S (el desencadenamiento de una concatenación de acontecimientos en S), o una modificación de S . Si en cualquiera de estos casos la acción fue intencional, entonces decimos que el resultado es artificial.³ La noción genérica de artefacto se puede aplicar a cualquier estado, proceso o sistema artificial. Pero hay un uso más estricto del mismo término que sólo se aplica a aquellos objetos o sistemas que son producto de un sistema intencional de acciones y además son “nuevos” en un sentido que enseguida explicaremos.

Al proceso de formación de un sistema a partir de sus componentes lo denominamos *ensamblaje del sistema*. Ensamblar dos componentes para formar un objeto es lo mismo que establecer entre ellos un acoplamiento. Ensamblar un sistema es, pues, lo mismo que establecer una serie de acoplamientos entre sus componentes, de forma que cada uno de ellos esté acoplado al menos con otro.

³ Bunge (1985b).

El ensamblaje de un objeto natural se produce de forma natural a través de procesos físicos, químicos y evolutivos. Pero un objeto o sistema equivalente a un objeto natural (y perteneciente por lo tanto a la misma clase natural) puede también ensamblarse artificialmente. Diremos en este caso que el objeto es un *objeto natural producido artificialmente*. Por último, si el objeto no sólo es ensamblado artificialmente, sino que además no pertenece a ninguna clase natural de objetos, decimos entonces que es un *artefacto* en sentido estricto.

Algunos ejemplos aclararán el significado de estas distinciones. La acción intencional más elemental sobre un sistema es aquella cuyo objetivo consiste en producir un determinado estado del sistema: cambiar un objeto de sitio, pulsar un interruptor eléctrico, calentar un objeto, enfriarlo o disponer las fichas en un tablero de ajedrez, son todos ejemplos de producción artificial de un estado en un sistema.

Un cambio de estado puede dar lugar a un proceso. Consideraremos que un proceso ha sido producido artificialmente si su origen (el acontecimiento inicial) es artificial. Un proceso producido artificialmente puede, sin embargo, ser un proceso natural si a partir del acontecimiento inicial todos los acontecimientos sucesivos que componen el proceso son acontecimientos regulares en el sistema. Por ejemplo, podemos preparar artificialmente una reacción química, pero una vez preparada la reacción ésta se puede producir sin intervención humana: el proceso está determinado enteramente por las leyes naturales del sistema a partir de las condiciones iniciales producidas artificialmente. Hay otro tipo de procesos artificiales en un sentido más fuerte: aquellos cuya trayectoria en el espacio de estados del sistema a partir del estado inicial no es función de las leyes internas del sistema. Podemos llamar a un proceso de este tipo *proceso artificialmente controlado*: la síntesis de una nueva sustancia es un proceso de este tipo, pero también el que se produce en un sistema de acequias para riego o en el reactor de una central nuclear. Un proceso artificialmente controlado en un sistema natural contiene segmentos de procesos naturales, pero el proceso en su conjunto es artificial. Por último, obsérvese que no todos los procesos en sistemas artificiales, artefactos en sentido estricto, tienen que ser procesos artificiales —la oscilación de un puente es un proceso en un sistema artificial que se puede producir por causas naturales, corrientes de aire, por ejemplo— y menos aún artificialmente controlados: la fatiga de los materiales en una construcción, el desgaste de los rodamientos de una máquina, etcétera.

Otra de las grandes categorías de cambios producidos por acciones intencionales es la de *modificación de sistemas*: a diferencia de los procesos artificiales,

que inducen cambios en el comportamiento de un sistema, las modificaciones artificiales de un sistema inducen cambios (expansiones o reducciones) en su estructura. La modificación de un sistema consiste en variar los acoplamientos entre sus componentes: la cirugía, la reparación de automóviles, la conservación de un parque natural son ejemplos de la modificación de sistemas. La modificación de un sistema puede comportar además una alteración de los componentes del sistema. En tal caso, equivale a un proceso de ensamblaje o desensamblaje y puede dar lugar a un sistema enteramente artificial. Por último, hay que señalar que la modificación de un sistema se puede conseguir de muy diferentes modos: desde variando simplemente el estado de algunos de los componentes del sistema, si éste es estable (la modificación de un edificio, la amputación de un miembro o la instalación de una prótesis en un organismo, o de un nuevo mecanismo en una máquina, por ejemplo), hasta desencadenando artificialmente procesos naturales en algunos de los componentes del sistema (templar el acero o amalgamar la plata, o curar una infección vírica, por ejemplo) o someténdolos a procesos artificialmente controlados (la ortodoncia, por ejemplo, pero también la reforma de una institución social, la reestructuración de una empresa o la recuperación de un hábitat natural).

Los mismos procedimientos que se pueden utilizar para modificar un sistema son los que hay que utilizar para producir un artefacto en sentido estricto a partir de sus componentes. Los componentes de un artefacto son al fin y al cabo sistemas que para ser ensamblados en un nuevo sistema requieren modificaciones de su estado, de su comportamiento o de su estructura.

En la biotecnología actual hay casos límite de modificación y producción de sistemas que parecen desafiar cualquier clasificación. Un hecho llamativo es que, de acuerdo con nuestras definiciones, no hay diferencias sustanciales entre la fecundación *in vitro* y la procreación “natural” de seres humanos si ésta se hace intencionalmente. En ambos casos puede tratarse de procesos naturales desencadenados de forma intencional. La diferencia reside simplemente en la mayor o menor eficiencia en la forma de desencadenar el proceso y en las posibilidades de un control posterior del mismo. Otro caso límite es la síntesis de organismos enteramente nuevos a través de procesos artificialmente controlados. De acuerdo con nuestras definiciones, estos organismos son artefactos en sentido estricto, aunque una vez producidos puedan dar lugar a la formación de clases naturales, lo que nos lleva a la necesidad de reconocer la existencia de clases naturales generadas artificialmente. De ahí que se pueda plantear con toda legitimidad (aunque esto es una cuestión jurídica y moral, no técnica) el derecho de patente sobre or-

ganismos artificiales. Obsérvese, sin embargo, que el mismo tipo de cuestiones se pueden plantear a propósito de organismos y clases de organismos que son también resultado de procesos artificiales de otro tipo, como las razas de ganado o las semillas obtenidas por selección artificial (una técnica, por cierto, tan antigua como la civilización). La diferencia entre estos casos reside en el tipo de procesos involucrados: en la ingeniería genética la modificación se produce mediante ensamblaje artificial de nuevos componentes en el nivel molecular, mientras que en la selección artificial la acción humana se limita a controlar artificialmente un proceso natural.⁴

La noción de control es central para la filosofía de la tecnología y volveremos más adelante (cap. v) a ella. Por el momento terminaremos este capítulo señalando, a título de ilustración, dos características peculiares de las nuevas tecnologías: el aumento que suponen en la capacidad de síntesis o producción de artefactos nuevos (desde los nuevos materiales hasta los nuevos organismos), y el incremento del grado de control artificial de cualquier proceso que es posible gracias al desarrollo de tecnologías informáticas y electrónicas que permiten separar las operaciones de control del resto de las operaciones de producción.

Hemos definido las nociones básicas de la ontología de la técnica: sistema u objeto concreto, acontecimiento, proceso, acción, acción intencional, sistema de acciones, artefacto. Tenemos así todos los elementos necesarios para la definición del concepto de técnica. Pero esto merece otro capítulo.

⁴ Sanmartín (1987) distingue entre tecnologías de intervención y tecnologías de síntesis para dar cuenta de estas diferencias entre control artificial de procesos y ensamblaje de artefactos.

IV. LA ESTRUCTURA DE LOS SISTEMAS TÉCNICOS

UNA REALIZACIÓN técnica es un sistema intencional de acciones. Y una técnica es una clase de realizaciones técnicas equivalentes. En este capítulo utilizaremos las nociones desarrolladas en el capítulo anterior para definir la estructura de los sistemas técnicos. Esto nos permitirá aclarar algunos problemas de clasificación de las técnicas y otras nociones importantes para la filosofía de la técnica como las de variante de una tecnología, uso de una tecnología, tecnologías alternativas, etcétera.

1. SISTEMAS TÉCNICOS

De acuerdo con la definición de sistema de acciones que hemos dado en el capítulo anterior, cualquier sistema físico compuesto de partes que interactúan puede considerarse en realidad como un sistema de acciones entre sus componentes. Por otra parte, hemos considerado un tipo especial de acciones, las acciones intencionales, y hemos caracterizado un tipo de composición intencional de acciones intencionales, la cooperación. Lo que necesitamos para definir los sistemas técnicos es la noción de un sistema *intencionalmente organizado* de acciones, intencionales o no. En efecto, necesitamos que la noción de sistema técnico pueda aplicarse a una máquina, o al menos al sistema formado por una máquina y su operador, tanto como a la compleja organización de todo un sistema de fabricación de un determinado tipo de productos (una planta de refinado de petróleo, por ejemplo).

Definamos, pues, en primer lugar, la noción de *sistema intencional de acciones*: un sistema intencional de acciones es un *sistema de acciones compuesto intencionalmente*. Para que el sistema en su conjunto sea intencional se requiere.

- i) Que haya al menos un subconjunto de agentes intencionales que formen parte del sistema.
- ii) Que esos agentes intencionales tengan una representación del sistema en su conjunto y actúen intencionalmente para conseguir un objetivo compartido.
- iii) Que esos agentes intencionales crean que el objetivo compartido es parte de los resultados del sistema.

Es decir, para que un sistema de acciones sea intencional tiene que haber algunos agentes intencionales (a los que podríamos llamar *agentes responsables* del sistema)¹ que conciben globalmente el sistema, compartan un objetivo común como parte de los resultados del sistema y actúen de forma intencional para conseguir cada uno al menos una parte del objetivo común.

Para que un sistema de acciones sea intencional no es preciso que todos los componentes y las acciones del sistema sean intencionales. Tampoco es preciso que todas las acciones intencionales cumplan las condiciones *i-iii*. Sólo es preciso que las cumplan los que llamamos agentes responsables del sistema en su conjunto. Un sistema intencional de acciones puede incluir agentes intencionales cuyos objetivos propios no sean parte de los objetivos del sistema en su conjunto.

Por otra parte, en un sistema intencional de acciones el conjunto de sistemas concretos que lo componen puede ser igual al de los agentes intencionales responsables del sistema; en tal caso tendríamos un modelo de algunos tipos de interacción social, como determinados juegos, rituales, o actividades culturales y políticas, en los que no intervienen procesos físicos no intencionales ni actividades intencionales cuyo objetivo no sea parte del objetivo del sistema. Los sistemas resultantes no los consideramos sistemas técnicos concretos. Para que un sistema intencional de acciones sea un sistema técnico exigiremos, por lo tanto, que los subconjuntos de agentes y de acciones no intencionales (o intencionales, pero con objetivos ajenos a los del sistema) no sean vacíos.²

Daremos, pues, la siguiente definición de *sistema técnico*: un sistema técnico es un sistema intencional de acciones en el que, además del subconjunto de agentes intencionales del sistema que conciben los objetivos y actúan para conseguirlos, existe al menos un subconjunto de componentes (los que llamaremos componentes materiales del sistema) que son objetos concretos³ y cuya transformación o manipulación forma parte de los objetivos intencionales del sistema.

Así pues, pueden existir dos tipos de acciones intencionales en un sistema

¹ Esta noción de “agentes responsables” se ha introducido en la presente edición para referirse al subconjunto de agentes intencionales que conciben los objetivos generales y controlan el sistema. En la formulación simbólica de la primera edición (véase ahora anexo) no era necesario dar un nombre a este subconjunto, que era representado por el símbolo S^* [MAQ: 2005].

² Esto excluye de nuestra noción de sistemas técnicos concretos a aquellos sistemas de acciones que no incluyen elementos materiales de carácter instrumental. Nos alejamos así de la noción intuitiva de “técnica” como habilidad o sistema de acciones reguladas, que puede referirse a técnicas puramente conceptuales o a ritos sociales que siguen determinadas reglas, etc. [MAQ: 2005].

³ En el caso de sistemas sociales o biológicos, algunos de estos componentes materiales pueden ser a su vez agentes intencionales, pero no en calidad de agentes “responsables” del sistema, sino en calidad de objetos de manipulación o transformación [MAQ: 2005].

técnico: aquellas cuyos objetivos no son objetivos del sistema en su conjunto y aquellas cuyos objetivos intencionales son explícitamente los objetivos del sistema en su conjunto. Esto es perfectamente natural: en un sistema técnico complejo una parte de las acciones intencionales se plantean objetivos parciales sin necesidad de que los agentes de esas acciones se planteen el objetivo global de la técnica. Por suerte o por desgracia, una cadena de montaje es un sistema técnico que funciona con la condición de que cada operario actúe intencionalmente para ensamblar la pieza que le corresponde, sin preocuparse del resultado global, siempre que haya alguien que organice todo el proceso. Gracias a ello, sin embargo, es posible componer técnicas diferentes para constituir nuevas técnicas.

Ya dijimos en el capítulo II que un sistema técnico concreto no es una técnica, sino una instancia o una realización particular de una técnica. Pero disponemos (cap. III) de la noción de equivalencia de sistemas, que podemos aplicar ahora para definir el concepto de técnica.

2. TÉCNICAS

Dado un sistema técnico concreto T , el conjunto de todos los sistemas equivalentes a T constituye una *técnica*.

Es decir, lo que comparten todos los sistemas técnicos concretos que constituyen realizaciones de una técnica es su estructura, y ésta está formada por el conjunto de acciones entre componentes materiales y agentes intencionales, organizado con la intención de conseguir como resultado de la actuación del sistema los objetivos propuestos por los agentes responsables del mismo. Así pues, si queremos caracterizar completamente una técnica, lo que tenemos que hacer es determinar el tipo de componentes materiales con los que trabaja, las características que deben tener los agentes o sujetos que puedan ponerla en práctica, el tipo de acciones que se tienen que producir entre los componentes y los sujetos, los objetivos a los que pretende servir y los resultados que cabe esperar.

Naturalmente, cualquier sistema técnico concreto se puede caracterizar o describir de formas muy diferentes. La definición que nosotros damos supone que los conceptos básicos (componentes físicos, agentes intencionales, acciones, resultados y objetivos) se entienden en el sentido objetivo que les hemos dado (cap. III). Pero cualquier sistema técnico puede describirse en otros términos. De hecho, un economista describe una técnica en términos de factores de producción (capital y trabajo), coste de los factores y beneficio de los resultados. Un ar-

queólogo identifica una técnica por los restos de materiales e instrumentos que localiza en un yacimiento arqueológico. Un antropólogo puede interpretar una técnica como una parte de un ritual religioso cuya función es incrementar la cohesión social de un grupo humano. Un sociólogo, como un medio para mantener las relaciones de explotación económica y dominación social. Un epistemólogo o un investigador puede considerar una técnica como un sistema de conocimientos operacionales que pueden aplicarse si se dispone de las habilidades requeridas. Y por lo general, el usuario de una técnica no tiene por qué tener una representación adecuada de la técnica que está usando; en concreto, su descripción de los componentes y los resultados de una técnica pueden ser completamente ajenos a la ontología naturalista que subyace a nuestra definición: seguramente los mayas consideraban sus observatorios astronómicos como templos religiosos, un niño o una persona muy inculta puede pensar que dentro de un receptor de televisión hay un hombrecillo que habla, y un médico católico puede pensar que la fecundación *in vitro* supone la intervención divina, lo mismo que un curandero puede pensar que la eficacia de sus pócimas depende de la forma correcta de recitar un ensalmo al mismo tiempo que las administra al paciente. Para nosotros cualquiera de estas interpretaciones o descripciones lo son *de una técnica* si se puede identificar como su referente, al menos parcial, un sistema técnico tal como lo hemos definido.

La descripción estándar u ontológica de una técnica incluirá, pues, una descripción de los componentes físicos en términos de las propiedades relevantes para las acciones e interacciones que se van a considerar en ellos (la estructura atómica de los componentes de un reloj no era relevante para la técnica de construir relojes en el siglo xv), una descripción de los agentes intencionales en términos de sus objetivos de acción, sus conocimientos operacionales y sus habilidades (no es relevante el color de su pelo, por ejemplo, o la naturaleza de sus creencias o valores religiosos),⁴ una descripción de las acciones involucradas en términos reducibles a descripciones de cambios de estado en sistemas complejos, como sabemos, y una descripción igualmente “naturalista” de los resultados en términos de artefactos, procesos o estados terminales de los componentes materiales de la técnica.

⁴ Salvo posiblemente en algunos casos en los que la “cultura incorporada” a los sistemas técnicos sea incompatible con esas creencias o valores. Véase la segunda parte de la presente edición [MAQ: 2005].

3. VARIANTES Y MODIFICACIONES DE UNA TÉCNICA

Los historiadores, economistas y sociólogos suelen utilizar un concepto básico de técnica algo más laxo que el que hemos definido aquí. En algunos casos, como por ejemplo cuando se habla globalmente de la técnica del siglo XIX, se trata de una forma imprecisa de expresión que se refiere al conjunto de las técnicas que se usaban de hecho en el siglo XIX o, lo que suele ser más común, al conjunto de las técnicas que se inventaron o se aplicaron en ese siglo. En otros casos se utiliza el concepto de técnica para designar lo que en realidad es un tipo de técnicas (la técnica del hierro, del carbón, etc.) o de *variantes* y *modificaciones* de una técnica (la técnica de las máquinas de vapor en los siglos XVIII y XIX o de los relojes mecánicos en el siglo XV). Conviene definir también estos conceptos con precisión. Empecemos por los de variante y modificación de una técnica.

Hemos dicho en el capítulo III que una variante de un sistema es otro sistema que tiene sus mismas propiedades de estructura, pero con valores diferentes. Las únicas propiedades de estructura que definen a un sistema técnico son las de las acciones que intervienen en él, y las únicas propiedades cuantificables de que disponemos para caracterizar acciones son las de rendimiento (o productividad) y duración (y las definidas a partir de ellas: intensidad y fuerza). Diremos en consecuencia que un sistema técnico concreto es una *variante* de otro si es una realización de la misma técnica con valores diferentes de rendimiento o duración. Estas variaciones pueden afectar el tamaño de los componentes (una rueda de carro más pequeña que otra recorre menos espacio por unidad de desplazamiento horizontal de su eje), sus propiedades químicas o físicas (una misma máquina de vapor se puede alimentar con madera, lignito o hulla) y las consecuencias indirectas del sistema (contaminación ambiental, por ejemplo), pero no la estructura de la técnica en cuestión. Por ejemplo: se puede sustituir a los hombres por animales en la técnica de desplazamiento de piedras sobre patines de madera para construir pirámides o en la de extracción de agua por una noria sin que varíe en absoluto la estructura del sistema; o se puede conseguir mayor duración de un reloj de arena aumentando su volumen, o mayor precisión en un reloj mecánico aumentando la superficie de la esfera, mayor capacidad de procesamiento de un ordenador aumentando su memoria interna o mayor extensión de una red de telecomunicaciones aumentando el número de estaciones de repetición y amplificación de señales. Generalmente las variantes de un sistema tienen unos límites a partir de los cuales una mayor variación requiere un cambio de estructura, es

decir, una modificación del sistema: la mayor precisión de los relojes mecánicos sólo se logró cuando se introdujo el péndulo como mecanismo regulador, el rendimiento de las bombas de agua se multiplicó cuando se incorporaron máquinas de vapor como fuente de energía, lo que a su vez llevó a cambios en el diseño de la propia bomba, el aumento de la memoria interna de un ordenador más allá de los límites previstos requiere un cambio de diseño general, la extensión de una red de telefonía, más allá de un límite, exige una reorganización de su estructura, etcétera.

Uno de los mecanismos más elementales del cambio técnico consiste precisamente en la introducción de variantes de un sistema técnico que conducen a la modificación del sistema, con nuevas variantes que dan lugar a nuevas modificaciones, etc. Y el tipo de modificación de técnicas más interesante es la que conduce a la integración o composición, que consiste precisamente en componer varios sistemas técnicos para conseguir un nuevo sistema más complejo. Hablaremos enseguida de la complejidad de las técnicas, así como de los conceptos de uso y aplicación de una técnica. Veamos primero con algún detalle las partes que conviene distinguir en un sistema técnico.

4. PARTES DE UNA TÉCNICA

En todo sistema técnico suficientemente complejo podemos diferenciar dos clases de acciones: acciones no intencionales entre los componentes materiales del sistema o de éstos sobre los agentes intencionales, y acciones intencionales de los agentes intencionales sobre los componentes materiales. Dentro de éstas hay a su vez dos grandes tipos de acciones intencionales: acciones de producción o ejecución y acciones de organización, gestión o control del sistema. Al subsistema formado por todos los componentes de un sistema técnico entre los que se dan acciones no intencionales lo denominaremos el *subsistema material* de ese sistema técnico. Al subsistema formado por los componentes y agentes intencionales entre los que se producen acciones intencionales lo denominaremos el *subsistema intencional*, y en él distinguiremos a su vez los subsistemas de *ejecución* y de *gestión*.

Lo que llamamos el *subsistema material* de una técnica está formado por los procesos e interacciones no intencionales que se producen en el conjunto formado por los componentes materiales y los agentes intencionales del sistema técnico, es decir, por la estructura. Incluye, pues, las materias primas de que se alimenta un sistema técnico, los componentes mecánicos de una máquina, el combustible

o la energía que consume un motor, los agentes que manipulan materias primas, herramientas o máquinas y que pueden ser afectados por la acción de éstas sobre ellos, etc. En tecnologías energéticas, como la fisión nuclear, el papel del subsistema material es determinante: casi todos los parámetros relevantes para cualquier otro conjunto de acciones técnicas están determinados por los procesos reactivos que se producen en el núcleo del reactor. Pero esto no es una propiedad exclusiva de las técnicas de tipo físico. También en tecnologías biológicas y sociales el subsistema material puede tener importancia decisiva. En realidad, la mayoría de las técnicas biológicas son técnicas de control o de intervención en procesos naturales que tienen lugar en los organismos vivos. Y en cuanto a las técnicas sociales, una parte fundamental de su subsistema material está formada por el conjunto de acciones y procesos biológicos o sociales no intencionalmente orientados a los objetivos del sistema técnico, pero que son decisivos para la consecución de éstos. Por ejemplo, en un sistema técnico de comunicación social, los procesos psicosociales del rumor pueden ser decisivos para distorsionar, modificar, ampliar o reforzar la información; las técnicas de publicidad no serían efectivas si no se contara con la existencia de pautas no intencionales de comportamiento por parte de los destinatarios, y las instituciones sociales no funcionan a menos que estén adaptadas a las características de comportamiento de los componentes de las mismas (el diseño de un sistema educativo no puede ignorar, por ejemplo, las edades o el origen social de los educandos). Por otra parte, la mayoría de los problemas que se plantean en el diseño de sistemas técnicos relacionados con la seguridad para el usuario o para el agente técnico tienen que ver con el subsistema material: la contaminación ambiental de las tecnologías industriales o del transporte es un problema relacionado con el subsistema material de estas tecnologías. En tercer lugar, una buena parte de las modificaciones de una técnica se debe a modificaciones del subsistema material de técnicas anteriores: el uso industrial de la energía eléctrica alteró todo el sistema de producción fabril del siglo XIX independizando la organización espacial del trabajo en la fábrica de las restricciones impuestas por las correas de transmisión del movimiento mecánico a las máquinas (telares, tornos, fresadoras, etc.); la disponibilidad de componentes electrónicos estandarizados, baratos y producidos masivamente ha afectado a casi todas las tecnologías industriales de nuestros días. Y por último, las innovaciones características de las nuevas tecnologías consisten fundamentalmente en innovaciones materiales, producto en muchos casos de investigaciones científicas sobre nuevos materiales y nuevos procesos naturales. La electrónica de semiconductores, desde el transistor hasta los circuitos VLSI de muy alta integración, son un caso típico; otro caso

paradigmático es el desarrollo de tecnologías láser y, en el futuro, lo será el desarrollo de tecnologías de superconducción.

El otro componente diferenciado de todo sistema técnico es el *subsistema intencional*, es decir, el formado por las acciones e interacciones intencionales y por los componentes del sistema entre los que se producen tales acciones e interacciones. Incluye, pues, los agentes intencionales del sistema y los componentes materiales que son objeto de acciones intencionales por parte de los agentes. Distinguiamos aquí dos subsistemas: el de ejecución y el de gestión.

El *subsistema de ejecución* está formado por el subconjunto de componentes y agentes, conectados por acciones de éstos sobre aquéllos cuyos resultados son la modificación de los componentes (de su estado, de su estructura, de su comportamiento, incluyendo por lo tanto operaciones de ensamblaje, síntesis de nuevos objetos, uso de herramientas y de máquinas, etc.). El conjunto de las operaciones de ejecución se puede considerar como el subsistema *laboral* o de trabajo manual de un sistema técnico.

El *subsistema de gestión* está formado por las acciones intencionales cuyo objetivo es organizar el sistema técnico en su conjunto. Incluye, por lo tanto, como agentes de las acciones de gestión a los sujetos intencionales que se plantean los objetivos globales del sistema y dan las instrucciones necesarias para que éstos se consigan⁵ y, como objetos de las acciones de gestión, a los agentes intencionales del subsistema de ejecución.

Los subsistemas de ejecución y gestión o control se pueden distinguir conceptualmente en todas las técnicas, y realmente en la mayoría de los sistemas técnicos, especialmente en los que tienen cierto grado de complejidad. La aparición de subsistemas diferenciados de ejecución y de gestión supone la aparición de la división del trabajo en trabajo manual y trabajo directivo o no manual. Aunque en épocas históricas pasadas la gestión no se consideraba propiamente trabajo, la diferenciación social de la función de dirección o gestión técnica es muy antigua: la figura del ingeniero, arquitecto o director de obra la encontramos en todas las tecnologías antiguas que precisaban la aportación de varias técnicas o la cooperación de muchos trabajadores manuales, como son las obras de ingeniería civil egipcias, romanas, etcétera.

Sin embargo, una de las pautas de evolución de la técnica más evidente a lo largo de la historia es la que se observa en la evolución de los subsistemas de ejecución y de gestión de las técnicas materiales. En los sistemas técnicos más pri-

⁵ A los que hemos llamado agentes “responsables” del sistema [MAQ: 2005].

mitivos la ejecución de operaciones de transformación por parte del agente humano era la principal forma de intervención técnica de éste, la fuente de energía, que hoy consideramos parte del subsistema material de la mayor parte de las tecnologías físicas, la proporcionaba el hombre, y la noción de trabajo era sinónima de la de trabajo manual. Con la Revolución Industrial las tecnologías mecánicas y energéticas evolucionaron hasta convertir al operario manual en un “pastor de máquinas”. Y con la revolución de las nuevas tecnologías de la información es posible que todo el sistema intencional de *ejecución* de las tecnologías físicas se transfiera a robots inteligentes o bien se reduzca a la adopción de decisiones para poner en marcha o detener el funcionamiento de un sistema completamente automatizado.

Por otra parte, la pauta de evolución histórica del subsistema de gestión en las técnicas industriales es justamente la inversa.⁶ En las técnicas más primitivas la gestión del sistema se lleva a cabo por los mismos operadores manuales. En los talleres artesanales la gestión del sistema, en la medida en que se produce una mínima división del trabajo entre aprendices, oficiales y maestros, es competencia del maestro del taller. Con la introducción de la manufactura en la primitiva industria textil, la gestión se independiza de la ejecución pasando a ser competencia del patrón y de los capataces. En los modernos sistemas técnicos industriales, la gestión ocupa a una parte cada vez mayor de los agentes humanos del sistema, y la robotización completa de una planta industrial permite concebir todo el subsistema de gestión como un completo subsistema técnico en el que la intervención humana consiste en la adopción de decisiones, la definición y valoración de objetivos y el diseño de nuevos sistemas. Una de las características de la historia de la técnica en la segunda mitad del siglo xx es el desarrollo de tecnologías específicas de gestión, basadas en nuevas disciplinas tecnológicas como la propia teoría de sistemas, el análisis de operaciones, las ciencias de la administración, etcétera.

5. TIPOS DE TÉCNICAS

Atendiendo a los diferentes elementos que intervienen en la definición de un sistema técnico, podemos establecer distintos criterios de clasificación de las técni-

⁶ Inversa en el sentido de que, mientras el subsistema material evoluciona hacia lo que podríamos llamar la deshumanización (la independencia respecto de los agentes intencionales humanos), el subsistema de gestión evoluciona hacia una creciente humanización (mayor relevancia de las funciones específicamente humanas) [MAQ: 2005].

cas: en función de los componentes materiales, de los agentes, de las propiedades de las acciones y de los resultados.

La primera clasificación importante de los sistemas técnicos podemos hacerla en función de la *naturaleza de los componentes*. Hay aquí tres grandes grupos: técnicas físicas, biológicas y sociales. Las *técnicas físicas* son las más primitivas y generalizadas: abarcan desde las técnicas de construcción de herramientas elementales del paleolítico hasta tecnologías como la del control de la fisión nuclear o las tecnologías aeroespaciales. Dentro de este grupo incluimos también las técnicas que se basan en procesos de carácter químico, como las técnicas de tintado y tratamiento de tejidos, o las tecnologías de síntesis molecular de la industria química actual. Las *técnicas biológicas* abarcan desde las primitivas técnicas de cultivo y domesticación, pasando por las técnicas médicas, hasta las modernas tecnologías de la ingeniería genética y sus aplicaciones industriales. Por último, las *técnicas sociales* son aquellas cuyo objeto lo constituyen sistemas sociales humanos. Abarcan desde las técnicas de estrategia militar y de organización social hasta las técnicas de comunicación y tratamiento de la información.

Una característica peculiar de las tecnologías sociales es que en ellas una parte al menos de los componentes del sistema son sujetos intencionales y en muchas ocasiones agentes intencionales del propio sistema técnico. Esto hace difícil la diferenciación, en el sistema de acciones, entre acciones específicamente orientadas a los objetivos técnicos y acciones “naturales” de los componentes del sistema. La mayor parte de las “técnicas” primitivas de organización social (la división del trabajo en las sociedades primitivas, la organización de la familia, de la reproducción, etc.) son procesos más naturales que artificiales, dependientes de propiedades y procesos biológicos más que de procesos técnicos intencionales, producto de la respuesta espontánea a las necesidades más que de la planificación de acciones para conseguir objetivos libremente buscados. Por otra parte, la mayoría de las instituciones sociales que son resultado de una planificación técnica consciente e intencionada, artefactos sociales en sentido estricto, suponen la existencia de diversos grados de participación intencional de los componentes del sistema y, en concreto, una clara diferenciación entre los gestores y planificadores del sistema y el resto de sus componentes. Esto plantea problemas de “alienación” social y ha dado pie a que en ocasiones se pueda considerar que lo específico de las tecnologías sociales, lo que las diferencia de los procesos sociales espontáneos, son los objetivos de diseño y mantenimiento de relaciones de poder o dominación en el seno de los grupos sociales. Pero esto no tiene por qué ser necesariamente así, aunque la forma en que se diseñan y se

desarrollan algunas tecnologías sociales sí puede estar condicionada por objetivos de dominación.

La mayoría de las técnicas, y sobre todo de las tecnologías modernas realmente existentes, abarcan componentes de varios tipos. En primer lugar, desde luego, cualquier tecnología con cierto grado de complejidad, y que suponga la intervención de un grupo numeroso de agentes humanos, incluye en su estructura técnicas de organización del trabajo, de gestión y administración que son técnicas específicamente sociales. En segundo lugar, las fronteras entre procesos físicos y biológicos son en ocasiones difíciles de delimitar: la ingeniería genética se ocupa de organismos vivos, pero trabaja en el nivel de estructuras moleculares. Por último, la mayoría de las tecnologías sociales incluyen procesos físicos y biológicos: el urbanismo, la comunicación, la educación, la sanidad pública, etcétera.

Un caso especialmente relevante de *tecnologías mixtas* son las *tecnologías de la información*. En la clasificación que hemos hecho habría que incluirlas entre las tecnologías sociales. Pero es razonable cualquier duda respecto a la consideración de tecnologías como la robótica, la inteligencia artificial, la ingeniería del conocimiento y de las telecomunicaciones como tecnologías similares a las de organización de sistemas humanos, dirección y control de instituciones y procesos sociales, etc. En realidad, las tecnologías de la información son tecnologías mixtas, de carácter físico (electrónica) y cultural (tratamiento de la información).

Atendiendo a los *agentes humanos*, podemos establecer otros criterios de clasificación de sistemas técnicos. Desde el punto de vista de su papel en los sistemas técnicos, las propiedades que nos interesan en los agentes humanos son las relacionadas con sus *conocimientos* y sus capacidades o *habilidades*. Ambos factores son necesarios en todo sistema técnico, pero su peso es diferente en cada uno de ellos. Por otra parte, hay diversos tipos de conocimientos y habilidades necesarios en cada técnica. Concretamente, las habilidades requeridas pueden ser de carácter *manual* (las de los oficios artesanales), *organizativo* (las que se requieren en los funcionarios de una institución social) o *intelectual* (por ejemplo, las que se le exigen a un ingeniero de sistemas informáticos). Por otra parte, las habilidades requeridas pueden ser específicas o genéricas. Y por último, los conocimientos requeridos pueden ser igualmente específicos o generales, con un elevado componente teórico o meramente operacionales, etc. La siguiente clasificación puede ser útil:

A) Tecnologías basadas fundamentalmente *en conocimientos*:

- a) *En conocimientos teóricos* de carácter científico: tecnologías de punta o tecnologías avanzadas, muy vinculadas al desarrollo del conocimiento

científico, con escasa base operacional y con un alto peso en ellas de las actividades de I+D (investigación y desarrollo), como las tecnologías para el control de la fusión nuclear, la ingeniería genética, la tecnología láser, etcétera.

b) En *conocimientos operacionales* muy elaborados y generalmente con una fuerte base científica: tecnologías de ingeniería tradicional como la ingeniería civil o mecánica, la arquitectura, la cirugía, etcétera.

B) Tecnologías basadas fundamentalmente en *habilidades* o capacidades:

a) En habilidades *manuales específicas*: artesanías, oficios manuales.

b) En habilidades *manuales no específicas*: tecnologías de fabricación en serie, manufacturas, etcétera.

c) En habilidades *organizativas específicas*: técnicas de gestión de empresas o de instituciones.

d) En habilidades *organizativas no específicas*: técnicas de organización, asistencia social, técnicas de ventas, etcétera.

e) En habilidades *intelectuales específicas*: técnicas de programación de ordenadores, de control numérico de máquinas-herramientas, medicina especializada, control de plantas industriales, etcétera.

f) En habilidades *intelectuales no específicas*: relaciones públicas, publicidad, gran parte de las técnicas artísticas y culturales, etcétera.

Otro tipo de criterios de clasificación de sistemas técnicos son los que se refieren a las clases y tipos de *acciones* involucradas. Hay dos grandes tipos de acciones en toda tecnología: acciones intencionales y no intencionales. Y entre las primeras cabe distinguir entre acciones de ejecución y acciones de gestión, como hemos visto en el apartado anterior. Atendiendo a estos tipos de acciones, se puede aclarar el significado de distinciones usuales poco precisas.

Consideremos en primer lugar el conjunto de las acciones físicas no intencionales que se producen entre los componentes materiales del sistema y las acciones intencionales de ejecución, es decir, directamente orientadas a la transformación de componentes materiales. Podríamos aplicar las nociones de importancia, intensidad y fuerza de una acción a sistemas completos de acciones. Aunque no hemos establecido funciones de evaluación de la intensidad o la fuerza de una acción compuesta, podemos imaginar varias formas de hacerlo (el valor medio de las acciones componentes, el máximo, el mínimo o alguna otra función de éstos). Lo que nos interesa resaltar es que alguna medida de la intensidad relativa o

fuerza de las acciones que componen una técnica puede ser útil para dar cuenta de clasificaciones imprecisas como, por ejemplo, la que distingue entre tecnologías “duras” y tecnologías “blandas”. La característica común a las tecnologías que llamamos *duras* es que producen cambios de gran magnitud o importancia en los sistemas a los que se aplican y en su entorno, y necesitan grandes aportes de energía y de materiales. Las tecnologías *blandas*, por el contrario, modifican poco el entorno, comparativamente consumen poca energía y consiguen efectos importantes con acciones relativamente sencillas.

Como puede verse, todos los criterios implicados tienen que ver con los conceptos incorporados a nuestras nociones de importancia, intensidad y fuerza de una acción. La diferencia está en que la clasificación dicotómica entre tecnologías duras y blandas es muy poco matizada, mientras que una posible medida de la “fuerza” de un sistema técnico u otra equivalente permite ordenar las tecnologías por su grado de dureza. En otras palabras: no hay tecnologías duras y tecnologías blandas, sino tecnologías más o menos duras según la intensidad o la fuerza de las acciones involucradas.

Otra distinción usual es la que se establece también de forma muy imprecisa entre tecnologías *simples* y tecnologías *complejas*, que a veces se confunde con la distinción entre pequeñas y grandes tecnologías. Enseguida definiremos la complejidad de un sistema tecnológico de forma precisa. Pero el contenido intuitivo de la idea de tecnología pequeña o simple se podría aclarar en función del papel que en ella desempeñan las acciones intencionales específicamente orientadas a la gestión global del sistema. El ejemplo más simple de sistema técnico es el que forman un operario y la herramienta que maneja: en él no se pueden diferenciar las acciones de gestión o control del sistema de las acciones de ejecución. A medida que aumenta la complejidad de un sistema se necesita aumentar también el número de acciones dedicadas a controlarlo o a gestionar su funcionamiento, y en algunos grandes sistemas tecnológicos, como una gran central hidroeléctrica, termoeléctrica o nuclear, la inmensa mayoría de las acciones intencionales que componen el sistema son acciones de gestión y control.

Por último, hablemos de los tipos de *objetivos* de un sistema técnico de acciones. Cabe distinguir aquí también dos grandes grupos de sistemas técnicos, que en la jerga de las tecnologías industriales suelen recibir el nombre de tecnologías de producto y tecnologías de proceso.

Una tecnología *de producto* (o de síntesis) es aquella cuyo objetivo es la construcción de un artefacto en sentido estricto, es decir, un producto artificial nuevo. Los productos pueden ser bienes de consumo directo, herramientas, máquinas y

obras de infraestructura, así como artefactos mixtos como las máquinas-herramientas. En la jerga comercial se aplica también el nombre de “producto” a lo que en realidad es un “servicio” (por ejemplo, la organización de un programa de vacaciones).

Una tecnología *de proceso* (o de intervención) es aquella cuyo objetivo consiste en controlar un proceso para que se mantenga dentro de ciertos parámetros o para conseguir que el resultado del mismo (el estado final) tenga determinadas características. La estrategia militar es una tecnología típica de proceso, como también lo es la educación, la sanidad, la técnica de fecundación *in vitro* o las diversas técnicas de transporte.

Hay que observar, sin embargo, que lo más común es que en sistemas técnicos complejos encontremos como subsistemas integrados tanto técnicas de producto como de proceso. Por ejemplo, en toda tecnología de producción de energía hay subsistemas técnicos cuyo objetivo es aprovechar procesos naturales para obtener el objetivo final, y lo que diferencia a unos sistemas de otros es el tipo de material o fuente de energía que utilizan y las tecnologías de proceso que aplican. En general, dentro de un mismo tipo de tecnologías de producto puede haber diferentes tecnologías de proceso. De hecho, muchas de las innovaciones tecnológicas son precisamente innovaciones de proceso: diseño de nuevos sistemas técnicos para obtener un mismo producto a través de procesos diferentes (más rentables, por ejemplo, o simplemente no restringidos por derechos previos de patente industrial).

6. MÁQUINAS Y TÉCNICAS COMPLEJAS

Todo sistema es por definición compuesto, pero utilizaremos las nociones de simplicidad y complejidad de un sistema en un sentido especial: un sistema de determinado tipo es simple si no forman parte de él otros sistemas del mismo tipo; en caso contrario, es complejo. Un sistema técnico es simple si no consta de partes que sean a su vez sistemas técnicos, es complejo si está formado por ensamblaje o integración de otros sistemas técnicos.

Podemos definir la noción de *integración* de técnicas en los siguientes términos:

Diremos que una técnica T está integrada en una técnica T' si, y sólo si, algunos de los resultados R' de T' dependen de los resultados R de T .

Hay diversas formas de integración de técnicas. La más común es mediante la incorporación de máquinas en el componente material de una técnica.

Una *máquina* es un artefacto físico capaz de transformar energía de determi-

nado tipo en trabajo mecánico.⁷ Una máquina junto con su usuario constituyen un sistema técnico en el sentido de nuestra definición. (La máquina por sí sola no necesariamente es un sistema técnico, aunque puede serlo en el caso de las máquinas automáticas, y además es siempre, por una parte, el resultado de un sistema técnico y, por otra, el componente fundamental de la mayoría de los sistemas técnicos.)⁸

Las máquinas son artefactos físicos y pueden ser a su vez simples o complejas. Las máquinas simples son artefactos mecánicos de una sola pieza; desde la Antigüedad se distinguen cinco tipos de máquinas simples: el plano inclinado, la cuña, la palanca, el tornillo y la rueda.

En las máquinas complejas podemos distinguir tres tipos: máquinas mecánicas, motores y máquinas automáticas. Las máquinas mecánicas o mecanismos son dispositivos de diverso grado de complejidad que combinan funciones mecánicas simples para producir un tipo de movimiento o trabajo específico. Su funcionamiento depende del aporte de energía que reciben del exterior y tienen la característica de realizar un único tipo de trabajo o, dicho en otros términos, de que su funcionamiento sigue una pauta regular, en condiciones dadas, determinada por su estructura mecánica. La mayoría de las herramientas manuales son las máquinas mecánicas más elementales; pero los dispositivos mecánicos pueden llegar a tener un elevado grado de complejidad. El ejemplo más característico de dispositivo mecánico complejo en la historia de la técnica antes de la Revolución Industrial es el reloj de cuerda.

Los motores son máquinas que transforman y aprovechan fuentes naturales de energía de manera que sea utilizable para el trabajo mecánico. La vela de los barcos, la rueda hidráulica, los molinos de viento, los resortes o las pesas de los relojes, la turbina, etc., son ejemplos de motores basados en las leyes de la mecánica. La importancia de la máquina de vapor en la historia de la técnica deriva de que con ella aparece un nuevo tipo de motor, capaz de transformar una fuente de calor en movimiento mecánico. Y la importancia, mayor aún, de los motores eléctricos deriva de que gracias a ellos es posible transformar cualquier otra fuente de energía disponible en energía utilizable de múltiples formas en lugares alejados del origen de la energía.

El funcionamiento de una máquina mecánica o de un motor está determina-

⁷ Seguimos en esta sección el planteamiento de Aracil (1986, cap. 1).

⁸ La máquina se considera el prototipo de artefacto técnico y ello justifica su papel central en una reconstrucción de la historia de la técnica. Mumford utiliza la expresión metafórica "la máquina" para referirse a la tecnología moderna.

do por las condiciones en que opera y por la estructura de la máquina. Ambas circunstancias pueden variar más allá de unos límites tolerables, en cuyo caso la máquina deja de funcionar o funciona de forma no eficiente. Una máquina automática es aquella que es capaz de adaptarse a circunstancias cambiantes. Esto puede realizarse en dos sentidos: o bien haciendo que el comportamiento de la máquina permanezca constante frente a las variaciones del medio, o bien haciendo que la máquina adapte su funcionamiento en forma adecuada a las variaciones del medio. Un ejemplo elemental, pero paradigmático, de mecanismo automático del primer tipo es el regulador de velocidad de la máquina de vapor de Watt: su objetivo es conseguir que, independientemente de las variaciones de carga a que se someta a la máquina, la velocidad de ésta permanezca constante. Un ejemplo del segundo tipo es un servomotor cuyo movimiento varía hasta el límite señalado por el mecanismo maestro: el servofreno de un automóvil ejerce una presión sobre los discos de las ruedas proporcional al recorrido del pedal.

El funcionamiento de máquinas automáticas, como de cualquier otra máquina, requiere el intercambio y la transformación de energía, pero la función de los dispositivos automáticos no depende de la cantidad de energía o de trabajo mecánico que realizan, sino de la información que a través de ellos transmiten o procesan. Lo que hace un regulador de Watt se puede describir como el uso de una información acerca de la velocidad a que está funcionando la máquina de vapor para dar instrucciones que regulen el paso de vapor. Obviamente, estas funciones de regulación o control se realizan mediante movimientos mecánicos (desplazamiento centrífugo de las bolas, variación de la apertura de la válvula, etc.), pero funcionalmente son independientes de las propiedades mecánicas del dispositivo. Las mismas funciones de regulación o control podrían llevarse a cabo con mecanismos diferentes (entre otros, mediante la intervención de un operador humano).

La posibilidad de independizar las funciones de control de las funciones estrictamente mecánicas se ha generalizado en la práctica gracias al desarrollo de la electrónica y la informática. En un dispositivo electrónico la cantidad de energía eléctrica necesaria para su funcionamiento puede ser mecánicamente despreciable. Sin embargo, su uso para transmitir y procesar información es extremadamente valioso por su versatilidad, velocidad y bajo coste. Contando con la electrónica, cualquier dispositivo automático puede sustituirse por un complejo formado por un sistema sensor de información (un detector electrónico de velocidad, por ejemplo, en el regulador de Watt), un dispositivo procesador de la información (un procesador electrónico que calcule la apertura de la válvula en función de la veloci-

dad) y un efector que realiza las operaciones adecuadas según la información recibida (un servomotor que abra o cierre la válvula, de acuerdo con los valores calculados por el procesador).

La posibilidad de independizar las operaciones de regulación o control del resto de las operaciones mecánicas ha dado lugar, sin embargo, a la generalización de un tipo nuevo de máquinas: las máquinas automáticas programables de propósito general.⁹

Una máquina es programable si se pueden introducir variaciones en su estructura que modifiquen su función. Los telares mecánicos y las pianolas han sido seguramente las primeras máquinas programables en este sentido amplio y ciertamente poco interesante (un *kit* de herramientas con dispositivos intercambiables es una “máquina” —en realidad, una herramienta— programable en este sentido). Lo que supone una innovación definitiva es la programación de máquinas automáticas de forma que puedan adaptarse no sólo a distintas circunstancias o a distintos objetivos en una misma tarea, sino a distintas tareas.

Un programa es una secuencia de instrucciones operacionales, es decir, de mandatos para realizar acciones de determinado tipo en función de la información disponible. Los dispositivos de programación de una máquina automática pueden ser de muy diverso tipo y capacidad. Por ejemplo, el programador de una lavadora automática no electrónica consiste en un pequeño motor eléctrico que hace girar un tambor en cuya superficie están grabadas protuberancias que actúan sobre interruptores eléctricos; la selección de un programa consiste tan sólo en seleccionar un fragmento del recorrido del tambor que da lugar a una determinada secuencia de operaciones y procesos automáticos (dependientes fundamentalmente de la temperatura del agua y el tiempo de funcionamiento). Las mismas funciones se pueden ejecutar con un programador basado en un pequeño procesador y un reloj electrónico. En cualquier caso, se trata de un dispositivo que admite un conjunto limitado de programas.

La programación universal se ha hecho posible con la aparición de los ordenadores o máquinas computadoras programables. La peculiaridad tecnológica más sobresaliente de un ordenador no es que sea una máquina especializada en procesar información (las máquinas calculadoras de carácter mecánico también hacían eso), sino que se puede programar para realizar distintas tareas de procesamiento de información. De forma que en principio un ordenador puede sustituir al dispositivo procesador de información de cualquier mecanismo auto-

⁹ Bunge (1985b).

mático. A ello hay que añadirle la versatilidad y facilidad de la programación de los ordenadores actuales, en los que las instrucciones del programa se pueden tratar a su vez como unidades de información (no siempre fue así: la programación de los primeros ordenadores se hacía exclusivamente por *hardware*). En consecuencia, el conjunto de programas posibles está sólo limitado, en principio, por la capacidad de almacenamiento de las instrucciones en la memoria del ordenador (aunque para propósitos prácticos el factor tiempo y la velocidad de procesamiento es también una limitación).

El último paso en la evolución de las máquinas lo constituyen los robots. Un *robot* ideal es una máquina que dispone de un conjunto de sensores para detectar el estado de los objetos que constituyen su entorno o las propiedades de los que tiene que manipular, un conjunto de dispositivos efectores (motores y dispositivos mecánicos capaces de realizar operaciones de manipulación de objetos de una amplia clase) y un sistema de procesamiento de información programable de propósito general. Naturalmente, los robots reales no son máquinas universales: están limitados por el tipo de sensores de que disponen y el tipo de operaciones que pueden realizar sus efectores. Pero lo significativo de los robots en la evolución de las máquinas es que, en principio, para cualquier trabajo mecánico que puede ser realizado por una máquina, por compleja que sea, puede diseñarse un robot que sea también capaz de realizarlo.

La importancia de las máquinas para la historia de la técnica deriva de su capacidad de integración en sistemas progresivamente complejos y de su efecto multiplicador de las posibilidades de diseño de nuevas técnicas. Una máquina es por sí misma un subsistema de ejecución capaz de integrarse en cualquier sistema técnico que realice el mismo tipo de tareas. Una máquina automática puede reemplazar incluso a buena parte del subsistema intencional de control o gestión de una técnica. Y un robot programado constituye, en realidad, por sí solo, una máquina capaz de suplir a todo un sistema técnico complejo.

El grado de complejidad de una técnica depende del número de técnicas que incorpore, de la diversidad y complejidad de esas técnicas y de su nivel de integración en el sistema. Desde este punto de vista, se puede señalar en la historia de las técnicas una pauta de evolución similar a la que siguen otros sistemas biológicos y sociales: de la simplicidad a la complejidad, desde el hacha de sílex hasta los grandes complejos industriales automatizados.

7. APLICACIONES Y USOS DE UNA TÉCNICA

En el lenguaje común —y también nosotros en las páginas precedentes— hablamos de aplicaciones y usos de una técnica en un sentido que sólo es inequívoco si utilizamos “técnica” para referirnos a artefactos técnicos o a los resultados de una técnica. Será útil definir el significado de estas expresiones en términos de nuestra definición de sistemas técnicos. Para ello necesitamos algunas nociones previas.

En principio cualquier sistema técnico concreto se puede considerar como la aplicación o realización de una técnica. Pero una misma técnica se puede aplicar de diferentes formas, por diferentes individuos y con propósitos distintos, y será útil tomar en consideración estas posibilidades para dilucidar el concepto de aplicación o uso de una técnica.¹⁰ Para ello empecemos por aclarar qué significa que un individuo o grupo de individuos disponga de una técnica.

Diremos que una técnica T está *disponible* para un grupo de individuos G si, y sólo si, algunos miembros de G poseen o pueden poseer los componentes C necesarios para una realización de T , y algunos miembros de G están capacitados (tienen los conocimientos y las habilidades necesarias) para formar parte del conjunto S de agentes de una realización de T .

Dicho en terminología económica, disponer de una tecnología requiere disponer del capital que permita acceder a las materias primas y a los equipos necesarios para aplicarla, así como de la fuerza de trabajo adecuadamente calificada, tanto desde el punto de vista de las tareas de ejecución como de las de gestión.

La noción de *tecnología disponible* es relevante para entender algunos de los problemas de la transferencia de tecnologías de países desarrollados a países menos desarrollados. Para que exista verdadera transferencia, éstos deben poder “disponer” de la tecnología transferida, lo que exige no sólo transferencia de equipamientos, sino también de *know how* y de *entrenamiento* suficiente.

Diremos que un grupo social G (una nación, una empresa, etc.) *usa* o *aplica una tecnología* T si, y sólo si, T está disponible para G y hay una realización de T (un sistema técnico concreto) en el que el conjunto de los “agentes responsables”, que conciben los objetivos y organizan el sistema, es un subconjunto de G .

Una misma tecnología se puede usar para distintos fines. En primer lugar, cualquier tecnología se puede usar para su finalidad propia (por el valor intrínseco

¹⁰ La noción de *uso* de una técnica es básica para dilucidar el concepto de racionalidad de las decisiones tecnológicas. Véase García de la Sienna (1988).

que tienen para el grupo que la usa o por los propios objetivos de la tecnología) o para incorporarla en otras tecnologías. Por otra parte, cualquier tecnología puede usarse para distintos fines externos a ella. La tecnología de fisión nuclear, lo mismo que muchas otras tecnologías físicas, biológicas y sociales, se puede usar para fines pacíficos o bélicos; las tecnologías médicas se pueden utilizar para curar enfermedades, para mutilar a personas, para exterminar a grupos sociales o para investigar y descubrir nuevas técnicas; las técnicas de administración se pueden usar para organizar sistemas de convivencia participativos e igualitarios o jerárquicos y opresivos, etcétera.

Diremos, por lo tanto, que un grupo social G usa una tecnología T para un fin F si, y sólo si, G dispone de T , aplica T , se propone conseguir el objetivo F y F depende de al menos una parte de los resultados R de T .

Los fines F del uso de una tecnología pueden no depender de los objetivos O de T , sino de una parte de sus resultados, aunque no sean los objetivos propios: se puede usar una tecnología para aprovechar sus productos residuales (una central nuclear para obtener plutonio).

Si una tecnología se usa para un fin que no dependa completamente de los objetivos propios de la tecnología, sino de un subconjunto de ellos, entonces es posible usar una variante o una modificación de esa tecnología que sea suficiente para el fin propuesto. Por ejemplo, si el fin que se propone el gobierno de un país al introducir una nueva tecnología industrial es aumentar el número de empleos, puede decidir usar una variante de la misma tecnología en la que parte del equipamiento mecánico se sustituya por mano de obra no especializada.¹¹

Obviamente, no todos los fines son compatibles con una tecnología ni todas las tecnologías son adecuadas para un fin. Podemos definir el conjunto de usos posibles de una técnica en los siguientes términos:

Dada una técnica T y un grupo social G que dispone de T , el conjunto de los *usos posibles* de T para G es el conjunto de realizaciones concretas de T , o de variantes o modificaciones de T , de las que pueden depender los fines F de G .

Los usos posibles de una técnica no están, por lo tanto, dados de antemano. Dependen de los fines que se propongan los grupos sociales que dispongan de ella, y éstos pueden variar y varían de hecho a lo largo de la historia, en función, entre otras cosas, de las diversas opciones tecnológicas de que se disponga.

La noción de *opciones tecnológicas* es correlativa de la de usos posibles de una

¹¹ Robinson (comp.) (1983).

técnica: el conjunto de las opciones técnicas para un fin F propuesto por un grupo social G es el conjunto de las técnicas que G puede usar para F .

La noción de opciones tecnológicas no es, pues, sinónima de *alternativas tecnológicas*. La primera se refiere a usos de técnicas y es una noción sociológica (incluye la referencia a un grupo social G y a las tecnologías disponibles para él), la segunda se refiere a características de las técnicas consideradas como sistemas abstractos. Podemos definirla en los siguientes términos:

Dado un conjunto de objetivos posibles O , diremos que dos técnicas T y T' con resultados R y R' son *técnicas alternativas* para O si $T \neq T'$ y O es un subconjunto de $R \cap R'$.

En sociología y política tecnológica se habla con frecuencia de “tecnologías alternativas” en un sentido poco riguroso. En ocasiones el término se refiere a las opciones tecnológicas más adecuadas para determinado tipo de grupos sociales o países (tecnologías intermedias, tecnologías apropiadas, etc.). En otras ocasiones se quiere indicar con esa expresión la posibilidad de desarrollar y aplicar un tipo de tecnologías completamente diferentes a las características de la sociedad industrial avanzada. En realidad, el ser “alternativo” es una relación: una tecnología es una alternativa frente a otra si puede cumplir los mismos objetivos de forma diferente. Las supuestas “tecnologías alternativas” generalmente no cumplen los mismos objetivos que las tecnologías que de hecho se aplican en la sociedad industrial, y lo que realmente parece que se quiere decir debería expresarse más correctamente en términos o bien de usos alternativos de una tecnología o, en forma más general, en términos de propuestas de fines alternativos para la vida social. Muchas veces las llamadas tecnologías alternativas o no son alternativas o no están disponibles o son simplemente opciones de uso alternativo de tecnologías disponibles.

V. DISEÑO Y EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS

GENERALMENTE el cambio técnico se produce por modificación y composición de técnicas previamente disponibles o de nuevos inventos y descubrimientos técnicos. Éstos pueden ser resultado de ensayos y tanteos no sistemáticos o de programas sistemáticos de investigación y desarrollo tecnológico. En cualquier caso, en los procesos de descubrimiento técnico se dan dos tipos de operaciones intelectuales: operaciones de *diseño* y operaciones de *evaluación*. Ambas se pueden llevar a cabo de forma racional, sistemática y científica o de forma empírica e intuitiva (aunque no necesariamente irracional).

Lo que caracteriza a las tecnologías industriales y en general a las tecnologías actuales de base científica es que su desarrollo se produce mediante programas sistemáticos de búsqueda de nuevas técnicas y en su diseño y evaluación se utilizan conocimientos científicos y procedimientos racionales.

En este capítulo nos ocuparemos de los problemas conceptuales que se presentan en el diseño y evaluación de tecnologías. Nuestro referente principal serán, pues, las tecnologías de base científica y nuestro objetivo será analizar la estructura conceptual de las operaciones de diseño tecnológico, el significado de las nociones de eficiencia y capacidad de control, relevantes para la evaluación de tecnologías, así como la noción de progreso tecnológico.

Nos movemos, pues, en el ámbito de la epistemología y la axiología de la técnica, pero lo que ya conocemos acerca de la estructura de los sistemas técnicos nos servirá de guía para nuestra indagación sobre la creación de tales sistemas. Para empezar, debemos recordar que la creación de un nuevo sistema técnico supone dos momentos diferenciados: la concepción del sistema y su implementación o ejecución. Aquí nos interesa solamente la primera parte, que es de naturaleza conceptual o intelectual, semejante, en esa medida, a otras tareas intelectuales como el descubrimiento y evaluación de una teoría científica o de un nuevo fenómeno natural.

Precisamente la analogía entre las operaciones conceptuales involucradas en el cambio tecnológico y las que intervienen en el cambio científico será una guía útil para nuestro propósito. La base de la analogía reside en que en ambos casos se trata de operaciones intelectuales que nos llevan a descubrimientos de cosas

nuevas, y de evaluar tales descubrimientos de forma racional. Las diferencias estriban en que en el caso del descubrimiento científico lo que buscamos son teorías y hechos; en el caso del descubrimiento técnico, artefactos y sistemas técnicos. Las teorías y los hechos científicos los contrastamos de acuerdo con criterios que esperamos nos permitan avanzar en el *conocimiento* de la realidad, mientras que los diseños tecnológicos los valoramos de acuerdo con criterios que esperamos nos permitan avanzar en el *control* de la realidad. Por otra parte, los conocimientos científicos pueden utilizarse para el diseño de tecnologías, y las tecnologías pueden utilizarse para la evaluación y el control experimental de teorías científicas. Esto nos indica que, además de las analogías entre las operaciones conceptuales presentes en el desarrollo científico y en el tecnológico, existen entre ellos relaciones de interdependencia.

1. LA “LÓGICA” DEL DISEÑO TECNOLÓGICO

Utilizamos aquí la expresión “lógica del diseño” en sentido informal, de manera semejante a como se usa la expresión “lógica del descubrimiento científico”. Se trata del análisis de los aspectos formales presentes en las operaciones de diseño o descubrimiento, no de la pretensión de construir un sistema de reglas semejantes a las de la lógica deductiva que nos permitieran resolver de forma automática cualquier problema de diseño. Podría igualmente utilizarse la expresión “teoría del diseño”, pero con ello podría suponerse que nos referimos a una teoría empírica que estudiara los procesos psicológicos que se producen en el cerebro o la mente del diseñador. La “lógica del diseño” se sitúa en una zona previa de análisis de estructuras conceptuales por métodos formales.

Para Simon,¹ que es uno de los principales impulsores del análisis formal y el estudio científico de las operaciones de diseño, diseñar es lo mismo que “concebir un conjunto de acciones capaces de transformar una situación dada en otra más satisfactoria”. Diseñar es, pues, lo mismo que concebir un plan de acción.² En el lenguaje común, sin embargo, distinguimos entre diseñar un objeto nuevo, como una máquina o una casa, y concebir el plan de acción que se va a seguir para ejecutarlo.³ El diseño de un objeto restringe naturalmente el conjunto de las acciones que es posible y necesario ejecutar para construirlo a partir de una situación

¹ H. A. Simon (1973).

² Broncano (1988).

³ Bunge (1985b).

dada, pero no de forma unívoca. En términos de nuestra definición de técnica, diremos que el objeto del diseño es concebir una técnica, mientras que la formulación de un plan de acción equivale a especificar una determinada realización de esa técnica (diseñar la ejecución de un sistema técnico). Por otra parte, un plan de acción es siempre una sucesión de acciones intencionales, mientras que el diseño de un artefacto tiene en cuenta también las acciones no intencionales del subsistema material. De manera que sería más apropiado definir la operación de diseño en estos términos: *diseñar es concebir un sistema intencional de acciones capaces de transformar objetos concretos de forma eficiente para conseguir un objetivo que se considera valioso*. Es decir, diseñar es precisamente concebir un sistema técnico.⁴

El diseño requiere, por lo tanto, llevar a cabo las siguientes operaciones: determinar el objetivo del sistema, los componentes (incluidos los agentes), y la estructura (la composición de las acciones e interacciones que conducirán al objetivo deseado). Normalmente pensamos en las operaciones que realiza un ingeniero al elaborar un diseño como si se refirieran exclusivamente a estructuras físicas (al subsistema material), porque damos por supuesto que tanto el objetivo como la mayoría de las restricciones que condicionan el diseño están dados de antemano y, por decirlo así, son impuestos desde fuera al diseñador. Este esquema, sin embargo, puede valer para dar cuenta de casos específicos de realización de *proyectos* que se proponen aplicar una técnica dada a una situación concreta, pero no es adecuado para dar cuenta del proceso general del diseño técnico. En éste, aunque existen restricciones obvias (de coste, de materiales, de conocimientos científicos disponibles y de elementos técnicos susceptibles de integración en un nuevo sistema), todas ellas son en principio objeto de reconsideración a lo largo del proceso de diseño: los objetivos pueden sufrir modificaciones como resultado del descubrimiento de nuevas posibilidades interesantes, los materiales pueden variar si se descubre que hay otros más apropiados para el objetivo propuesto, e incluso las restricciones de coste económico pueden cambiar como resultado del propio proceso de innovación técnica (véase el siguiente capítulo).

Ahora bien, este carácter complejo y sumamente específico de las operaciones de diseño técnico no impide que podamos aclarar una buena parte de su estructura considerándolas como un caso particular de un género de tareas intelectuales mucho más amplio: el de la resolución de problemas.

⁴ Hay otros sentidos de la palabra “diseño”. El diseño artístico consiste en la concepción de un objeto concreto con valor estético, y lo que hoy se entiende por “diseño industrial” es la aplicación de los criterios del diseño artístico a productos industriales.

Podemos caracterizar un problema como una situación que no encaja con nuestras expectativas. Hay dos grandes categorías de problemas: problemas conceptuales y problemas prácticos.

Un *problema conceptual* surge cuando se produce cierto desajuste en nuestras estructuras conceptuales como consecuencia o bien de la percepción de una inconsistencia o bien de la constatación de una laguna o un vacío en una parte de nuestro sistema conceptual. Los problemas conceptuales pueden referirse tanto a nuestros conocimientos formales o lógico-matemáticos, como a nuestros conocimientos acerca del mundo real y a nuestro sistema de valores. La solución de un problema conceptual consiste en reconstruir el ajuste de nuestras estructuras conceptuales, recomponiéndolas, sustituyendo algunas de sus partes o incorporando nuevos elementos. Ejemplos de resolución de problemas conceptuales son la demostración de teoremas en matemáticas, la explicación de hechos en las ciencias empíricas y las reformas de sistemas de normas jurídicas y morales.

Un *problema práctico* surge cuando se produce un desajuste entre nuestros deseos realizables y la realidad. El desajuste puede consistir o bien en la existencia de una situación real que contradice nuestros deseos, o bien en la ausencia de una situación real que los satisfaga. En ambos casos la solución de un problema práctico consiste en actuar para conseguir un ajuste entre la realidad y nuestros deseos. La mayor parte de los problemas prácticos que se nos plantean en la vida diaria los resolvemos utilizando el repertorio de habilidades de que disponemos. En algunos casos, sin embargo, necesitamos adquirir nuevas habilidades, cosa que hacemos por ensayo y error, o desarrollando un plan sistemático de búsqueda de soluciones; cuando este plan se guía por criterios de eficiencia, podemos decir que la solución que buscamos es una solución técnica.

Cualquier problema práctico se puede representar como un problema conceptual en el que nuestras propias acciones forman parte de la realidad y la representación que nos hacemos de ellas figura entre los componentes de una estructura conceptual. De ahí el interés general que tiene el análisis de la resolución de problemas conceptuales. Veamos en primer lugar el caso de la explicación científica.

2. EL MODELO DE LA EXPLICACIÓN CIENTÍFICA

La explicación científica de un hecho consiste en deducir el enunciado que describe ese hecho a partir de una teoría o hipótesis más general. Esquemáticamente, podemos representarla como una inferencia deductiva del siguiente tipo:

<i>Explanans</i>	T	<i>Teoría</i>
	$C \rightarrow F$	<i>Hipótesis</i>
	C	<i>Hechos circunstanciales</i>
<i>Explanandum</i>	F	<i>Fenómeno por explicar</i>

Las condiciones para que las circunstancias C puedan explicar el fenómeno F son dos:

- 1) que en efecto F se produzca en las circunstancias C , y
- 2) que la hipótesis que conecta a C con F ($C \rightarrow F$) sea deducible a partir de alguna teoría bien establecida T .⁵

Cuando un investigador se enfrenta a la tarea de explicar un nuevo hecho dispone, por una parte, de un conjunto de teorías que se pueden considerar relevantes para el caso y, por otra, de un conjunto de enunciados que describen las circunstancias en las que se produce ese hecho. Su problema consiste en encontrar una hipótesis que sea consecuencia de sus teorías y que permita identificar algunas de las circunstancias que son causa de que el hecho se produzca. Para ello tendrá que comprobar varias hipótesis, variando las circunstancias experimentalmente, y es posible que se vea obligado también a inventar un nuevo marco teórico si las teorías de que dispone no logran encajar con los hechos constatados. El resultado final será una recomposición de la estructura conceptual, de forma que el nuevo hecho o fenómeno explicado pueda encajar adecuadamente en el conjunto.

Podemos concebir todo el escenario en el que se produce la actividad intelectual del investigador como un *contexto conceptual*⁶ en el que están a su disposición una serie de elementos (predicados, nombres, relaciones, enunciados de leyes, etc.) que nos permiten describir hechos y construir teorías. La tarea del investigador es descubrir en ese entramado caminos que le permitan inferir descripciones de hechos a partir de enunciados de leyes y de descripciones de otros hechos. Los instrumentos básicos de que dispone para ello son las reglas de la lógica deductiva: ellas son las que marcan los caminos posibles o la estructura básica de toda red conceptual. Los descubrimientos científicos son en el fondo siempre descubrimientos de una prueba deductiva, tanto si se trata de inferir hechos nue-

⁵ Bunge (1982), Quintanilla (1976a).

⁶ Tomamos la noción de contexto conceptual de Bunge (1974, I, cap. 5).

vos a partir de premisas (teorías e hipótesis) conocidas, como si se trata de inventar nuevas premisas (nuevas teorías o hipótesis) que nos permitan inferir, de una forma nueva, más simple o más fructífera, hechos viejos y nuevos.

Pues bien, la diferencia fundamental entre un contexto conceptual relevante para el análisis del descubrimiento científico y un contexto adecuado para el análisis de la invención técnica es que en ésta forma parte del contexto la representación de las acciones intencionales posibles sobre objetos concretos. Llamaremos a este tipo de contextos conceptuales *contextos operacionales* o pragmáticos.⁷ En ellos figuran, junto a las teorías y las representaciones de hechos, leyes y propiedades de la realidad, representaciones de acciones intencionales que pueden transformar la realidad, o si se prefiere, representaciones de *operaciones*.

La introducción de operaciones en un contexto conceptual no varía la estructura lógica básica de éste. Podemos representar una operación como una ley, si bien referida al comportamiento de un sistema complejo, formado por el objeto y el agente de la operación.⁸ El problema del diseño técnico consiste en descubrir, en el contexto operacional, sistemas de acciones que nos permitan conectar situaciones de partida con objetivos deseables, de forma semejante a como en un contexto conceptual el problema es conectar hechos a través de estructuras teóricas. Esto nos permite utilizar para el análisis del diseño el mismo tipo de instrumental formal que utilizamos en el análisis del descubrimiento científico.⁹

Hay, sin embargo, una diferencia importante entre los contextos conceptuales y los contextos operacionales que conviene anunciar desde ahora: los contextos operacionales tienen una propiedad de *plasticidad* de la que carecen los contextos conceptuales. Para explicar un hecho, en un contexto conceptual, tenemos que seleccionar un conjunto de enunciados que describen algunas de las circunstancias en que se produce el hecho y un conjunto de hipótesis y teorías que nos permitan deducir el enunciado que describe el hecho en cuestión. Se supone que el seleccionar una u otra circunstancia, o el utilizar unas u otras premisas en el *explanans* no afecta a la situación real: las circunstancias reales en las que el hecho se produce se mantienen constantes mientras las seleccionamos y las leyes de la naturaleza no cambian porque decidamos introducir uno u otro de los enunciados legales en una explicación. En cambio, en un contexto operacional la se-

⁷ Quintanilla (1988). Broncano (1988) llama “conjunto de posibilidades pragmáticas” al conjunto de los estados posibles de un sistema que son además potencialmente deseables por un sujeto. Es obvio que el conjunto de las posibilidades pragmáticas está determinado por el contexto operacional.

⁸ Es decir, como un enunciado nomoprágmató en terminología de Bunge (1982).

⁹ Quintanilla (1980a y 1984).

lección de una operación conlleva generalmente la alteración de la situación de partida y con ello cierta recomposición de todo el espacio de posibilidades. Un contexto es como una red de galerías en una mina, que el investigador recorre en todas las direcciones procurando encontrar los caminos que conectan un punto con otro. El diseñador, en cambio, además de recorrer galerías ya abiertas, de vez en cuando construye nuevas galerías; a veces eso le permite hallar un camino nuevo dejando intacto el resto de la red, pero otras veces produce derrumbamientos y altera toda la estructura de la mina, lo que le obliga a cambiar sus planos y a recomponer su tarea como si se tratara de un nuevo contexto.

3. MODELOS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Los estudios de IA constituyen un campo de investigación tecnológica. Su objeto es diseñar sistemas técnicos capaces de resolver problemas de forma inteligente, es decir, de forma parecida a como los sujetos humanos adecuadamente capacitados resuelven el mismo tipo de problemas. Esto ha llevado a los teóricos de la inteligencia artificial al análisis de los procesos típicos del comportamiento inteligente, en un campo limítrofe entre la psicología y el análisis formal.¹⁰

Una de las investigaciones pioneras que contribuyó al desarrollo de la IA fue el estudio de sistemas de reglas para la deducción de teoremas en lógica y matemáticas. En principio, es posible adoptar aquí dos tipos de enfoques: un enfoque heurístico que intenta reproducir los procesos intelectuales que utilizamos de hecho en el razonamiento matemático, y un enfoque algorítmico que pretende establecer un sistema de transformación de símbolos lógico-matemáticos, que permita obtener de forma “mecánica” una prueba efectiva de un teorema, en caso de que eso sea posible.

Uno de los resultados más tempranos de estos estudios fue descubrir precisamente procedimientos para representar la estructura formal de cualquier proceso intelectual orientado a la búsqueda de una solución para un problema. Utilizaremos aquí la estructura de un “sistema de producción”,¹¹ estructura típica en las investigaciones sobre IA, como modelo de contexto operacional en el que se desenvuelve la lógica del diseño.

¹⁰ Boden (1984), Raphael (1984), Cuenca *et al.* (1985) y Mompín Poblet (comp.) (1987) proporcionan información comprensiva de las investigaciones y problemas más relevantes en inteligencia artificial.

¹¹ Nilsson (1982).

Un sistema de producción está formado por tres elementos: una base de datos, un sistema de reglas de producción o de transformación y un sistema de control que podríamos caracterizar también como una “estrategia”. En la base de datos figuran todos los datos relevantes para describir el “mundo” al que se aplica el sistema, incluidos los estados del mundo que pueden ser establecidos como objetivos que se deben conseguir; en el sistema de reglas figuran todas las operaciones de transformación que se pueden realizar sobre los datos, y en el sistema de control las estrategias o formas de aplicar esas reglas para conseguir determinado tipo de resultados. Supongamos un caso concreto: un sistema de producción para jugar al ajedrez constará de una base de datos en la que se nos dan las propiedades de las distintas figuras del ajedrez, sus posiciones sobre el tablero, etc., un sistema de reglas que indican los movimientos que se pueden realizar con cada figura, y un conjunto de estrategias que nos dicen cómo hay que proceder en la aplicación de las reglas para maximizar la probabilidad de ganar el juego, es decir, de obtener una disposición de las figuras sobre el tablero que sea jaque mate para nuestro adversario. Se han diseñado varios tipos de estrategias de carácter general para resolver este tipo de problemas. Una de ellas es el sistema GPS (*general problem solver*)¹² para la “resolución general de problemas”. Se trata de una estrategia “heurística” que trata de imitar la forma intuitiva de razonar ante un problema. La idea básica que guía al GPS es el principio de la reducción de diferencias. Podemos explicar el papel de este principio con un ejemplo simple.¹³

Supongamos que nuestra base de datos está formada por tres objetos: una mesa, un vaso y dos habitaciones contiguas. Las situaciones posibles vienen dadas por las propiedades de estos objetos consistentes en que el vaso puede estar o no estar sobre la mesa y tanto la mesa como el vaso pueden estar en una u otra de las dos habitaciones. Las operaciones que permiten las reglas de transformación consisten en mover el vaso de la mesa al suelo de la misma habitación y viceversa, así como en desplazar la mesa de una habitación a otra. Supongamos que, como situación inicial, la mesa está en la habitación A y el vaso está sobre la mesa, y que el objetivo sea una situación en la que el vaso esté sobre el suelo en la habitación B. El método de las diferencias consiste en comparar la situación inicial con la final, ver en qué difieren, y buscar en el sistema de reglas aquellas que puedan ir eliminando las diferencias. Para que sea efectivo hay que tener en cuenta que la aplicación de una regla puede eliminar una diferencia, pero al mismo tiempo im-

¹² Newell y Simon (1963).

¹³ Adaptado de Raphael (1984).

pedir que se eliminen las demás (recuérdese la plasticidad de los contextos operacionales):

<i>Situación inicial</i>	<i>Situación final</i>
a) El vaso está sobre la mesa.	a') El vaso está sobre el suelo.
b) El vaso está en A.	b') El vaso está en B.
c) La mesa está en A.	c') La mesa está en B.

El sistema de reglas permite eliminar directamente las diferencias $a - a'$ y $c - c'$; pero si aplicamos las reglas en este orden, no podremos eliminar la diferencia $b - b'$. En cambio, si aplicamos primero la regla que nos permite desplazar la mesa (con el vaso encima) de A a B, podremos aplicar la otra regla, que nos permite pasar el vaso de la mesa al suelo, y obtener el resultado esperado.

En el campo de la demostración automática de teoremas,¹⁴ los resultados fueron espectaculares y tempranos. El problema se puede representar en términos de sistemas de producción: en la base de datos figuran los enunciados que componen las premisas y la conclusión del teorema, las reglas de producción o de transformación son reglas de inferencia lógica y el problema consiste en diseñar una estrategia que nos permita pasar de las premisas a la conclusión aplicando las reglas de inferencia. El objetivo de los primeros investigadores en este campo fue encontrar un procedimiento automático de aplicación de las reglas (un procedimiento que pudiera aplicarse mecánicamente, no heurístico) y que garantizara que, en todos aquellos casos en que fuera posible, el sistema construyera una prueba efectiva del teorema. El fundamento de estos sistemas reside en reducir las reglas de inferencia lógica a reglas de transformación de fórmulas y diseñar un sistema de control (una estrategia) que guíe la transformación de fórmulas hasta la conclusión de la inferencia. El interés de estos sistemas para la inteligencia artificial se debe sobre todo a su trascendencia teórica: cualquier problema planteado en un sistema de producción se puede entender como un problema de demostración automática de teoremas, de forma que cualquier estrategia aplicable a la demostración automática se puede aplicar en principio a cualquier otro sistema.¹⁵

En efecto, en un sistema de producción podemos hacer que las reglas específicas del sistema pasen a formar parte de la base de datos, como enunciados lega-

¹⁴ Loveland (1978), Robinson (1979).

¹⁵ García Noriega (1987).

les que restringen el conjunto de las propiedades y estados del “mundo”, y la resolución de un problema equivale a demostrar que, en ese mundo o base de datos, es demostrable el teorema o enunciado que describe la situación final.

En nuestro ejemplo anterior, en la base de datos figurarían no sólo enunciados que describen la situación inicial y la final, sino también operaciones y “leyes” referidas a las operaciones “mover un vaso” y “desplazar una mesa”, así como algunas otras leyes implícitas en el ejemplo, como la de que si se desplaza una mesa que tiene un vaso encima, éste sigue estando encima, etc. El problema consiste en demostrar que el enunciado que describe la situación final es deducible de las leyes que figuran en la base de datos en conjunción con el enunciado que describe la situación inicial.

Aparte del interés teórico, la posibilidad de considerar cualquier tarea de resolución de problemas como una demostración de teoremas ha tenido también gran trascendencia práctica en las investigaciones de IA al permitir utilizar las técnicas o métodos de la lógica matemática en el desarrollo de lenguajes de programación y sistemas de producción. Un ejemplo del primer tipo es el lenguaje Prolog (de programación lógica) que permite formular las bases de datos o de conocimientos en términos de enunciados de la lógica de predicados.¹⁶ Un ejemplo del segundo tipo es el programa Strips (*Stanford Research Institute Problem Solver*), que combina las técnicas de demostración automática de teoremas con las estrategias heurísticas basadas en la eliminación de diferencias.¹⁷

El problema de la plasticidad de los contextos operacionales, o problema del “marco” (*frame*),¹⁸ como se conoce en IA, ha sido también abordado de diferentes formas. El propio programa Strips aporta una solución al formular las reglas operacionales de forma que en cada regla se especifican los efectos de una operación indicando tanto las nuevas fórmulas que hay que introducir en la base de datos como las que hay que eliminar: la operación, por ejemplo, de “mover un objeto del lugar x al lugar y ” se define especificando las circunstancias en que se puede aplicar (que el objeto esté en x), así como las fórmulas que hay que eliminar de la base de datos cuando se aplica (que el objeto esté en x) y las que hay que añadir (que el objeto está en y). Por otra parte, se están llevando a cabo investigaciones sobre sistemas no estándares de lógica que sin duda nos permitirán avanzar en la

¹⁶ Campbell (comp.) (1984), Berk (1985).

¹⁷ Fikes y Nilsson (1971).

¹⁸ McCarthy y Hayes (1969), Nilsson (1982, p. 279). Shoham (1987) ofrece una interpretación general del problema del marco, relacionándolo con los problemas específicos del razonamiento acerca del futuro.

comprensión de las propiedades que presentan los contextos conceptuales sometidos a cambios de estructura.¹⁹

Para nuestros propósitos, los modelos de la inteligencia artificial son especialmente importantes. Un sistema de producción es un buen modelo de contexto operacional y el diseño de un sistema técnico se puede entender como el equivalente a la definición de una estrategia para aplicar de forma efectiva un sistema de reglas a la resolución de un problema. El hecho de que en un sistema de este tipo cualquier problema pueda plantearse como equivalente a la demostración de un teorema a partir de unas premisas que describen la situación inicial, las acciones posibles y las “leyes” o reglas operacionales, aclara de forma importante la estructura formal del diseño tecnológico.

4. INVENCIONES Y PROYECTOS

El resultado de un diseño tecnológico puede ser una invención o un proyecto. La mayor parte de la actividad de un ingeniero consiste en el diseño de proyectos. Diseñar un proyecto consiste en diseñar un sistema técnico concreto para resolver un problema práctico específico utilizando para ello una adecuada combinación de técnicas disponibles. En el modelo de la IA podríamos equiparar el diseño de un proyecto a la aplicación de una determinada estrategia para la resolución de un problema concreto en el marco de un determinado sistema de producción previamente definido. La situación real, sin embargo, es algo más compleja. Normalmente el ingeniero que se enfrenta a la tarea de diseñar un proyecto para realizar, por ejemplo, un puente con determinadas características no dispone de una única estrategia directamente aplicable, sino más bien de un repertorio de soluciones técnicas parciales y de posibles estrategias para combinarlas de forma adecuada al objetivo del proyecto. La originalidad de un proyecto (lo que justifica que vaya firmado por su autor, como una obra de creación intelectual) reside precisamente en la concreta selección de posibilidades que el proyectista lleve a cabo.

La originalidad y la creatividad en el diseño de proyectos técnicos son el punto de contacto de la tecnología con el arte. Como en la obra artística, en el diseño de un proyecto tienen un papel importante no sólo criterios de eficiencia técnica, sino también criterios de gusto estético y de estilo del proyectista. Los proyectos

¹⁹ McCarthy (1980), McDermott y Doyle (1980). Cuenca (1985) es un buen manual de técnicas de lógica formal útiles en inteligencia artificial.

de un arquitecto creativo llevan una impronta de su personalidad que nos permite identificarlos como obras suyas. Por otra parte, la originalidad de un proyecto afecta por lo general a la misma formulación del objetivo del proyecto: el diseño de un edificio con determinadas características funcionales (pongamos por caso, un hospital) puede hacerse de forma estándar y ser aplicado a cualquier situación en la que se requieran tales características funcionales; sin embargo, el diseñar el mismo tipo de edificio de manera que además se adapte al paisaje concreto en el que se va a construir, o a las costumbres de la población que lo va a usar o a las tradiciones culturales arquitectónicas predominantes en el medio, etc., son especificaciones añadidas al proyecto, cuya implementación exigirá un mayor grado de originalidad. De hecho, la valoración que hacemos de un proyecto que cumpla tales especificaciones tiene un componente estético similar al que se da en la valoración que hacemos de una obra de arte individual e irrepetible.

Un proyecto puede ser, por lo tanto, original y creativo, sin que ello suponga ninguna novedad desde un punto de vista estrictamente técnico. Por el contrario, una invención es un diseño que introduce una novedad técnica, es decir, que supone el descubrimiento de una nueva técnica. La novedad puede afectar a los componentes, a los resultados o a la estructura de la técnica.

Los inventos más radicales son aquellos que afectan a todas las partes de una técnica, como ocurre con la máquina de vapor, el motor eléctrico, la bombilla eléctrica, la cámara fotográfica, el aeroplano, el teléfono, la radio, la televisión, el transistor o el computador digital. Se trata de artefactos que tienen propiedades nuevas, que utilizan componentes que no habían sido nunca utilizados para funciones equivalentes y cuya estructura, por lo tanto, es completamente original.

En el modelo de la IA una invención radical equivale al diseño de todo un nuevo sistema de producción, con una base de datos original, un sistema de reglas operacionales propias y una estrategia definida específicamente para ese sistema.

Una invención puede, sin embargo, no ser tan radical. La modificación de técnicas previamente conocidas y su composición en técnicas más complejas es quizá la fuente más importante de novedad en la historia de la técnica. Generalmente el grado de novedad que supone una invención depende de la utilización de propiedades y procesos de componentes físicos que no se habían utilizado hasta entonces con los mismos fines. Lo original de la máquina de vapor es que permite transformar calor en movimiento mecánico; a partir de ese descubrimiento original se han producido numerosos inventos que han hecho la máquina más versátil, más eficiente, más rápida y más fiable, pero el invento más radical fue el primer diseño de una máquina que aplicaba el vapor producido en una

caldera a un pistón desplazándolo a lo largo de un cilindro y permitiendo que el pistón pudiera recuperar después su posición original de forma que se produjera un ciclo continuo en su movimiento.²⁰

Podríamos decir, por analogía con la historia de la ciencia, que los grandes inventos inauguran un nuevo paradigma²¹ tecnológico. A partir de él se abre todo un conjunto de posibilidades creativas. Por una parte, surgen nuevos problemas cuya solución requiere innovaciones técnicas, pero al mismo tiempo se ofrecen nuevas posibilidades para resolver viejos problemas. A la larga la mayor parte de las tecnologías previamente disponibles son afectadas por las nuevas posibilidades y los nuevos problemas.

A diferencia de la originalidad de un proyecto, la originalidad de un invento no tiene mucho que ver con criterios de valoración estética. Lo que apreciamos como original en un invento no es su capacidad para lograr un objetivo determinado en una situación concreta, sino la novedad de los resultados que se obtienen y la eficiencia con que se consiguen esos resultados. El objetivo de una invención no es resolver un problema concreto, sino inaugurar un procedimiento para resolver toda una clase de problemas nuevos que pueden abarcar innumerables situaciones concretas. Los criterios que usamos para valorar un invento son simplemente los criterios de evaluación característicos de la técnica.

5. LA EVALUACIÓN TECNOLÓGICA

Un diseño tecnológico se puede evaluar desde dos puntos de vista: interno y externo. Hablamos de evaluación interna cuando los criterios que se utilizan para evaluar un diseño sólo toman en consideración factores relacionados con la eficiencia. Hablamos de evaluación externa cuando se utilizan criterios relacionados con la utilidad o el valor que el diseño tiene para el usuario o la sociedad en su conjunto. Ambos tipos de evaluación intervienen en el desarrollo tecnológico y generalmente los criterios que se utilizan de hecho para evaluar un diseño tec-

²⁰ Las máquinas de Newcomen a principios del siglo XVIII se consideraban “máquinas atmosféricas” porque el retorno del pistón se lograba creando un vacío por condensación del vapor del cilindro, lo que permitía que la presión atmosférica le hiciera recuperar la posición de partida. Watt logró una notable mejora de la eficiencia de la máquina separando el condensador del vapor (1765); posteriormente utilizó la presión del vapor para el movimiento de retorno y mejoró la máquina con numerosas invenciones, entre ellas la introducción del controlador centrífugo de la velocidad en función de la carga (1787). Véase Dickinson (1958).

²¹ Kuhn (1962), Gutting (1984).

nológico son una mezcla de criterios internos y externos. Cabe incluso plantearse si tiene sentido en la práctica separar ambos tipos de evaluación. Cualquier diseño tecnológico tiene que hacerse dentro de un marco de restricciones impuestas por criterios de utilidad y toda valoración acerca de la utilidad de una técnica presupone, por otra parte, que ésta responde a cierto nivel de eficiencia.

En cualquier caso el interés creciente de la evaluación externa de las tecnologías en nuestras sociedades y la interdependencia de los criterios de evaluación internos y externos justifica su diferenciación y su clarificación conceptual. En el próximo capítulo nos ocupamos de los criterios de evaluación externa.

El tipo de evaluación de diseños tecnológicos al que nos referimos cuando hablamos de evaluación interna es, por decirlo de forma gráfica, el que interesa a un tecnólogo o a un ingeniero. Supuesta la utilidad del objetivo que pretende conseguir con su diseño, los factores que toma en consideración se refieren a su factibilidad, eficiencia y fiabilidad. De todos estos criterios el más importante y, al mismo tiempo, el más impreciso es el de eficiencia.

La *factibilidad* o *realizabilidad* de un diseño es la condición previa que se requiere para tomarlo en consideración. Desde un punto de vista estrictamente tecnológico, las condiciones de realizabilidad de un diseño son de dos tipos: materiales y operacionales. Un diseño es *materialmente realizable* si no contradice las leyes naturales conocidas. Un diseño es *operacionalmente realizable* si para su implementación se dispone de los sistemas técnicos, conocimientos y habilidades necesarios.²² Una parte importante de la investigación tecnológica consiste precisamente en hacer operacionalmente realizables ideas que creemos que físicamente lo son. Por ejemplo, el programa de investigación para el control de la energía de fusión es físicamente realizable y de lo que se trata es de aumentar nuestro conocimiento de procesos físicos que permitan confinar el plasma en condiciones operacionales y de descubrir sistemas de aprovechamiento de la energía producida con un rendimiento adecuado.

No cualquier diseño realizable es técnicamente valioso. Para que lo sea, se requiere además que sea eficiente. La noción de eficiencia es, sin embargo, ambigua. Sólo es precisa en el sentido termodinámico, pero el criterio de eficiencia termodinámica, a pesar de la importancia que ha adquirido para la evaluación de una amplia gama de tecnologías como consecuencia de la crisis energética, no es el único relevante en el diseño tecnológico. Por ejemplo, el consumo de energía de

²² Se podría hablar también de factibilidad científica (equivalente a material), tecnológica (equivalente a operacional) e industrial. La factibilidad industrial se refiere, sin embargo, a criterios de evaluación externos (rentabilidad económica, etcétera).

los ordenadores digitales actuales es tan despreciable que sería irrelevante evaluar la eficiencia de un ordenador en términos de consumo de energía (aunque en su origen este tipo de consideraciones fueron muy importantes para evaluar la tecnología del transistor,²³ y lo siguen siendo en el desarrollo del nivel de integración de los circuitos electrónicos, pero más por las consecuencias que la disipación de energía en forma de calor tiene para el rendimiento de los circuitos en términos de velocidad de procesamiento que por consideraciones de eficiencia energética).

La noción de rendimiento o productividad de una acción, tal como la hemos definido (cap. IV), permite generalizar a cualquier propiedad de un sistema cierta medida de eficiencia, al comparar la importancia o magnitud de la causa con la importancia o magnitud del efecto, en relación con una variable cualquiera. Pero no nos permite evaluar la eficiencia de un sistema en términos globales (tomando en consideración todas las variables pertinentes).

Una forma de resolver el problema es cambiar la valoración de eficiencia por una valoración de costes y beneficios. Entenderíamos en tal caso la eficiencia tecnológica en términos de racionalidad económica.²⁴ Una acción es racional si utiliza los medios más adecuados para el fin propuesto, lo cual en términos económicos significa que consigue maximizar los resultados y minimizar los costes. Para poder aplicar este procedimiento basta con que podamos definir una función de utilidad aplicable a cada uno de los componentes o variables relevantes para la evaluación de una tecnología. El criterio de racionalidad económica coincidiría con el criterio de rendimiento aplicado a cada variable por separado y nos permitiría calcular el rendimiento global del sistema en términos de esa función de utilidad. La forma más obvia de hacer esto, aunque no la única, es usar como valor los precios de mercado de cada uno de los componentes y acciones que forman parte del sistema.

Sin embargo, la reducción de la noción de eficiencia tecnológica a la de racionalidad económica equivale a sustituir un criterio de evaluación interna por otro de evaluación externa y oculta las peculiaridades de la racionalidad tecnológica.

6. EFICIENCIA Y CONTROL

El objetivo general de la técnica es aumentar nuestra capacidad de control de la realidad, de forma semejante a como el objetivo de la investigación científica es

²³ Braun y Macdonald (1984).

²⁴ Mattessich (1978).

umentar nuestro conocimiento de la realidad. Merece la pena que desarrollemos esta idea intuitiva, porque a partir de ella es posible dar un contenido preciso al concepto tecnológico de eficiencia y aclarar el contenido de nociones como la de progreso tecnológico y racionalidad tecnológica.

En el lenguaje corriente utilizamos la palabra “control” con un doble significado: en el sentido de dirigir o gobernar un proceso (control de tráfico), y en el sentido de vigilar o comprobar una propiedad (control de calidad). En lenguaje técnico la noción de control se usa predominantemente con el primer significado, aunque incluye también componentes del segundo: un termostato, por ejemplo, es un dispositivo de control de la temperatura que vigila que ésta no rebase ciertos límites y, cuando eso sucede, desencadena procesos que conducen a recuperar el nivel de temperatura para el que ha sido programado.²⁵

Podemos definir la noción general de *control de un proceso* en los siguientes términos: decimos que un sistema S controla un proceso P en un sistema S' si, y solamente si, P depende de la acción de S sobre S' y P se mantiene dentro de unos límites de variabilidad determinados.

Consecuentemente, consideraremos que un sistema S' está controlado por otro S , si S controla al menos un proceso en S' .²⁶

El control de un proceso puede ser más o menos estricto o laxo, dependiendo del nivel de variabilidad “espontánea” que sea permitido. Y el control de un sistema por otro puede ser más o menos amplio dependiendo del número de variables del sistema que resulten afectadas por el control.

No es necesario que la acción de control sea intencional. La ecuación de Volterra define un sistema de control de la población de dos especies animales en un mismo nicho ecológico: zorros y conejos pueden multiplicar o reducir su población dentro de límites definidos por su mutua interdependencia.

Tampoco es necesario, en principio, que la intervención en el proceso sea reiterada: en unos casos una única acción puede servir para desencadenar un proceso con límites de variabilidad muy restringidos (por ejemplo: la trayectoria de un proyectil de artillería de gran potencia y corto alcance la controla el artillero en el momento del disparo fijando el ángulo de tiro del cañón); en otros casos se requieren intervenciones sucesivas para corregir la variación del proceso (por ejemplo: para corregir la trayectoria de un misil teledirigido).

El *control artificial* de un proceso es un caso particular en el que la acción de

²⁵ Vázquez (1988).

²⁶ Esta noción de control de un sistema, aunque más laxa, es compatible con la que se usa en cibernética: Wiener (1960), Ashby (1972).

control es intencional y su objetivo es precisamente conseguir que el proceso se mantenga dentro de ciertos límites. Lo mismo vale, *mutatis mutandis*, para el control artificial del comportamiento global de un sistema.

En este sentido se puede entender que la función de cualquier sistema técnico es controlar una parte de la realidad, de manera que su comportamiento se mantenga dentro de los límites compatibles con los objetivos del sistema.

El grado de control artificial de un determinado sistema depende de tres factores: del nivel de tolerancia de la variabilidad que sea compatible con los objetivos del sistema, del número de variables que se pretenda controlar y del grado de ajuste entre los objetivos de la acción de control y los resultados realmente obtenidos. Pero es plausible pensar que los tres son interdependientes: cuanto más estrictos sean los límites de variabilidad tolerables y más numerosas las variables controladas, más garantías hay de que el control efectivo sea posible. Es más fácil reconducir la trayectoria de un proyectil tras una mínima desviación que si se toleran desviaciones muy amplias; es más efectivo un sistema de seguridad en una central nuclear que se base en controles múltiples y redundantes que uno basado en el control de una sola variable. Y en general es más probable conseguir la realización efectiva del objetivo de una técnica cuanto más dependa ésta de procesos artificialmente controlados y menos de procesos naturales.

Pues bien, podemos caracterizar la noción de *eficiencia tecnológica* en términos del tercer factor que define el grado de control: un sistema técnico es tanto más eficiente cuanto mayor sea el ajuste entre los objetivos y los resultados efectivos del sistema. En efecto, cuando evaluamos una acción o un sistema de acciones desde el punto de vista de la eficiencia técnica, lo que nos interesa es el grado en que los resultados de la acción coinciden con los objetivos que intencionalmente perseguíamos al realizarla. Y la razón de que éste sea el criterio predominante en la evaluación interna de una tecnología es que la eficiencia, entendida en este sentido, es un indicador del grado de control artificial o intencional que nos permite lograr la tecnología en cuestión.

Esta noción de eficiencia tecnológica es independiente de cualquier función de utilidad, pero al mismo tiempo permite dar cuenta de las otras interpretaciones usuales que damos al concepto de eficiencia.

En efecto, recordemos (caps. III y IV) que en la definición de acción intencional exigíamos como condición que el agente creyera que el objetivo O de la acción o del sistema de acciones estaba incluido en los resultados R realmente obtenidos. La relación de inclusión de conjuntos está justificada porque tanto los objetivos como los resultados de una acción se pueden caracterizar en términos

de conjuntos de valores de las variables de estado del sistema sobre el que se ejerce la acción. Una medida del ajuste de dos conjuntos debería reunir las siguientes condiciones: si los conjuntos son coextensivos, el ajuste es máximo, y si no tienen nada en común es mínimo; en el resto de los casos el valor del ajuste debe reflejar la proporción de los elementos que tienen en común respecto al total de los elementos que contienen. Estas condiciones se cumplen en la siguiente fórmula:

$$E(A, O, R) = \frac{|O \cap R|}{|O \cup R|},$$

donde $E(A, O, R)$ representa la eficiencia de una acción o sistema A de acciones con objetivo O y resultado R y el numerador y el denominador de la fórmula representan la cardinalidad de los correspondientes conjuntos. El rango de la función es el intervalo $[0, 1]$, su valor es 0 cuando objetivos y resultados de la acción no tienen nada en común, y 1 cuando coinciden plenamente.

Intuitivamente consideramos que una acción es ineficiente no sólo cuando no logra los objetivos previstos sino también cuando los logra derrochando recursos. Éste es el sentido que damos a la concepción de la eficiencia técnica como adecuación de medios a fines o racionalidad “instrumental”. Una parte de esta idea queda recogida en la definición que proponemos. En efecto, uno de los indicadores que tenemos para saber si se ha producido derroche de recursos en una acción o sistema de acciones es el número de resultados (cambios de estado o de propiedades) superfluos (no requeridos por los objetivos de la acción), y este factor queda recogido por nuestra fórmula.

La medida es compatible también con el concepto de eficiencia termodinámica. Ésta mide en realidad lo que podríamos considerar como el derroche de energía en la producción de un trabajo mecánico y es un caso particular de la medida que proponemos: en particular, la máxima eficiencia tecnológica de un motor (ningún resultado superfluo, y por lo tanto nula disipación de energía en forma de calor) implicaría una eficiencia termodinámica total. Como ésta es imposible, de acuerdo con las leyes de la termodinámica, aquélla también lo es.

La noción de eficiencia es la base para definir otros criterios internos de evaluación, en especial la efectividad y fiabilidad. Una técnica es *efectiva* si consigue realmente los objetivos para los que se ha diseñado, es decir, en nuestra fórmula, si $O \cap R = O$. Una técnica es *fiable* si su eficiencia es estable (no varía significativamente a través del tiempo).

7. EL PROGRESO TECNOLÓGICO

El ideólogo pesimista puede pensar que es absurdo hablar de progreso tecnológico. Cada nueva técnica que se aplica para resolver un tipo de problemas genera al menos tantos problemas nuevos como los que resuelve y el imaginar que cualquiera de nosotros viviría más feliz en el paleolítico está al alcance de cualquier mente humana, porque la imaginación es libre y nos permite colocar televisores en las cavernas de la Edad de Piedra. Sin embargo, lo cierto es que en la evolución de la técnica, como en tantos otros aspectos de la cultura y la civilización, es posible observar líneas de progreso en un sentido obvio, independientemente de que podamos valorar positiva o negativamente tal progreso desde una perspectiva moral. En efecto, si algo se puede constatar en la historia de la técnica es que a través de ella el hombre cada vez controla más parcelas de la realidad y lo hace de forma más rigurosa y completa.

La cuestión filosófica más importante que nos plantea el progreso tecnológico no es la cuestión de su bondad o maldad moral, sino la de la comprensión de los mecanismos y razones que explican esa forma de evolución tecnológica y del sentido que tiene. Y la tesis que defendemos a este respecto es que el progreso tecnológico es una consecuencia del empleo del criterio de eficiencia en la evaluación de tecnologías y es, por lo tanto, un fenómeno que se puede comprender en términos de factores internos a la propia tecnología. El hacerlo así nos permite, por otra parte, comprender el sentido racional y por lo tanto relativo del progreso. Una de las consecuencias de este enfoque es que la idea de la tecnología total y perfecta (la “hipermáquina”) es un mito irracional.

Hay dos aspectos en el progreso tecnológico: la aparición de técnicas nuevas que permiten controlar nuevos sectores de la realidad, y la mejora en la eficiencia de las técnicas, que permite controlar mejor el sector de la realidad al que se aplica cada una de ellas. Ambos aspectos del crecimiento o progreso técnico dependen del mismo criterio de racionalidad tecnológica o de eficiencia de la acción: seguramente la humanidad podría adoptar una actitud diferente y, en vez de intentar modificar y controlar el mundo que la circunda, podría intentar adaptar sus deseos a la realidad. Pero en el momento en que alguien se plantea un objetivo de transformación de la realidad para que ésta se adapte a sus deseos ha dado un paso definitivo para introducirse en la vorágine del desarrollo tecnológico, de la que no podrá salir, salvo que renuncie a su pretensión (cosa que, en una situación histórica como la nuestra, equivaldría obviamente al suicidio).

El deseo de sobrevivir, de procurarse alimento y protección frente al medio natural es el origen de los primeros utensilios y obras técnicas. La mejora en la eficiencia de los instrumentos de hueso dio lugar a los primeros ensayos sobre materiales para aplicaciones técnicas, y el intento de controlar las variaciones de temperatura del medio fue causa de las primeras técnicas de control de procesos naturales, en concreto del fuego.

En general, el tecnólogo que desea mejorar la eficiencia de un dispositivo tiene dos formas de hacerlo: intentar controlar más variables y más procesos relevantes, e intentar un control más estricto de tales procesos. El resultado en ambos casos es la extensión de la técnica, el aumento de la complejidad del diseño y la intensificación de la intervención intencional. El uso y la síntesis de nuevos materiales, la estandarización de componentes en tecnologías mecánicas que facilitan su integración, la sustitución de procesos naturales por procesos artificiales en tecnologías biológicas y el refinamiento de los sistemas de gestión de tecnologías son resultados de esas estrategias de maximización de la eficiencia.

Una de las consecuencias de esta dinámica de desarrollo tecnológico es que, al mismo tiempo que aumenta la extensión y la intensidad de la técnica, también aumenta su versatilidad y, por consiguiente, las posibilidades de integración de sistemas técnicos y el nivel de complejidad de las nuevas técnicas.

La introducción de los robots de brazo articulado para manipular objetos constituye un buen ejemplo de cómo se puede aumentar la eficiencia y la versatilidad de una técnica, multiplicando las intervenciones en los procesos y diseñando dispositivos que se encargan de controlar procesos más primarios.

Una de las ventajas funcionales de los robots de brazo articulado es que pueden situar el efector del robot en cualquier punto del espacio a su alcance y además siguiendo trayectorias complejas que le permiten salvar obstáculos y adaptarse a situaciones muy diversas. Para el caso más simple, en el que la tarea del robot sea desplazar el extremo de su brazo siguiendo una trayectoria rectilínea en sentido perpendicular al eje del robot, el movimiento que realiza es equivalente al que realizaría un émbolo conectado a una rueda motriz mediante una biela. La diferencia es que en este dispositivo mecánico el movimiento es rígido: siempre realiza el mismo recorrido en la misma posición. En cambio, el robot es flexible: puede seguir distintas trayectorias y alcanzar fácilmente infinidad de puntos diferentes en el plano. Por otra parte, el dispositivo mecánico no puede compensar pérdidas de eficiencia por rozamiento y desgaste y la precisión de su movimiento sólo puede aumentar a costa de una mayor rigidez, lo que conlleva mayor rozamiento, más desgaste y menos fiabilidad. En cambio, el robot puede corregir sus propias desviaciones e ineficiencias.

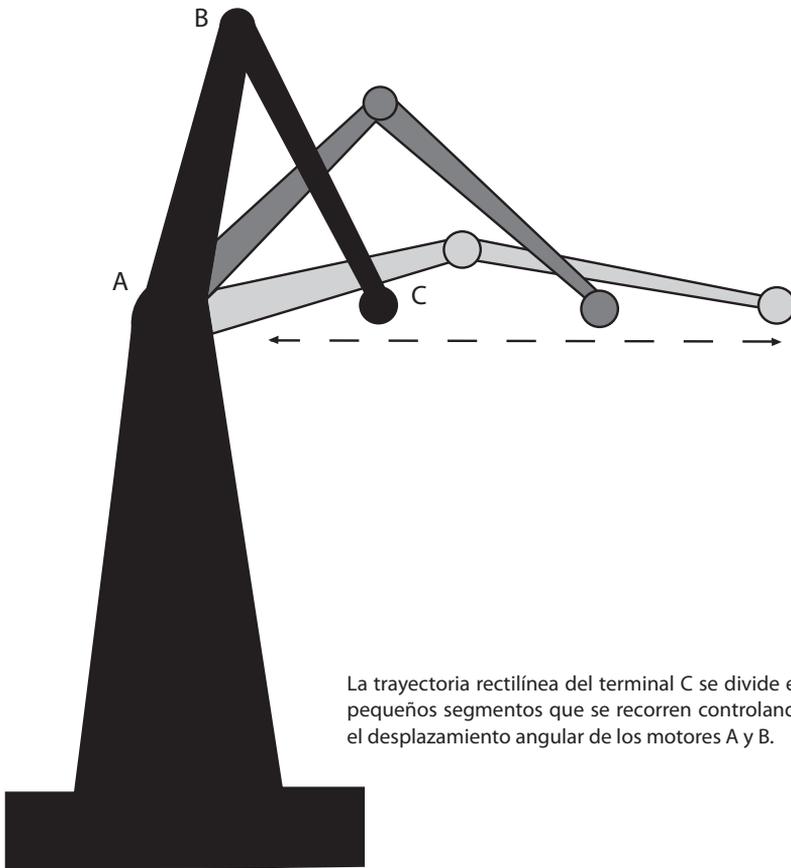


FIGURA V.1. Control de un robot de brazo articulado.

El principio en que se basa la acción del robot es la división del proceso (seguimiento de una trayectoria) en múltiples subprocesos (segmentos de trayectoria) y en el control rígido de cada uno de ellos. La división de la trayectoria en segmentos pequeños uniformes permite un mayor control de cada uno de ellos y una mayor facilidad para una eventual adaptación de todo el sistema a una trayectoria diferente.

Ahora bien, hay dos formas de construir un robot de brazo articulado: utilizando motores eléctricos normales para mover las articulaciones o utilizando motores paso a paso, cuando las especificaciones del robot lo hacen posible.

Un robot que utilice motores eléctricos normales necesita incorporar mecanismos detectores de posición, de frenado del movimiento de cada articulación y

de bloqueo de la posición de cada brazo; su sistema de control tiene que realizar continuas correcciones para compensar desajustes derivados del movimiento inercial que se produce en los brazos, enviar instrucciones de bloqueo y desbloqueo, etcétera.

El sistema de control del robot seguirá el siguiente esquema: 1) en primer lugar, dividir la trayectoria en segmentos tan pequeños como sea conveniente; 2) para cada segmento enviar al motor de cada articulación una instrucción de avance; 3) procesar las señales de los sensores de posición de los respectivos ejes de las articulaciones y calcular el desplazamiento angular de cada articulación; 4) si este desplazamiento ha llegado al límite previsto para el segmento de trayectoria, enviar la instrucción de frenado y bloqueo a los motores; 5) comprobar el valor del sensor de posición del efector; si se ha desviado de lo previsto, corregir la posición enviando nuevas señales a los motores de las articulaciones; 6) repetir el proceso para el siguiente segmento de trayectoria, etcétera.

La peculiaridad de un robot de brazo reside en la división de un movimiento en segmentos pequeños y en el control de cada uno de ellos. Sus dificultades se deben a la necesidad de controlar el movimiento rotatorio y continuo de los motores eléctricos. La introducción de los motores paso a paso supone extender el principio de la división de tareas al propio funcionamiento de los motores, simplificando así todo el proceso.

Un motor paso a paso es un motor eléctrico que actúa por impulsos cortos de corriente continua. Cada impulso genera un pequeño desplazamiento angular de su eje, el cual queda bloqueado por el propio mecanismo del motor hasta recibir un nuevo impulso. La incorporación de motores paso a paso a las articulaciones de un robot simplifican el control de sus movimientos en un sentido obvio: la división en segmentos de la tarea que se debe realizar está determinada de antemano por la magnitud del desplazamiento angular por cada impulso, de manera que el sistema de control del robot lo único que tiene que hacer es calcular los ángulos de los dos brazos para cada punto accesible de la trayectoria y enviar el correspondiente número de impulsos a cada motor. No se necesitan sensores de posición de los ejes de las articulaciones, y los mecanismos de frenado y bloqueo ya están incorporados a la estructura de los motores.

El ejemplo de los robots de brazo articulado se puede utilizar como una metáfora de lo que ocurre en el desarrollo tecnológico: la eficiencia aumenta con el aumento del control y se logra aumentando el número de intervenciones en los procesos y la profundidad de los procesos intervenidos, lo que conduce a una mayor versatilidad, capacidad de integración y complejidad de las técnicas.

Visto desde esta perspectiva, podría considerarse que el progreso tecnológico sigue una dirección inexorable hacia el control total de la realidad y que, guiados por el solo criterio de eficiencia, el ideal tecnológico podría caracterizarse como el logro de la máquina completa o la *hipermáquina*, como la llamaremos para darle colorido a la idea.

En efecto, imaginemos que todos los procesos reales están compuestos de segmentos elementales y que logramos diseñar sistemas técnicos capaces de controlar totalmente cada uno de los segmentos o acontecimientos elementales posibles en el universo. Llamamos hipermáquina al dispositivo técnico resultante de la integración de todos ellos. La existencia de la hipermáquina significaría aparentemente la consecución de la eficiencia tecnológica total: su usuario potencial podría conseguir los objetivos que se propusiera y sólo los que se propusiera. El problema de la hipermáquina es que es imposible: sólo existe en algunas ficciones literarias, en los libros de teología que defienden la omnipotencia divina y en las mentes asustadas de quienes prefieren recelar de la técnica en vez de intentar comprenderla.

Hay varios argumentos obvios que demuestran la imposibilidad de la hipermáquina. En primer lugar, los procesos naturales no son por lo general discretos sino continuos. Para conocer y controlar la realidad la parcelamos en segmentos discretos, que procuramos controlar, pero no hay en principio un límite finito para la segmentación de la realidad.²⁷ En segundo lugar, el aumento de control y de eficiencia se basa en el aumento de nuestro conocimiento y sabemos por la lógica que nuestro conocimiento es inevitablemente incompleto. En tercer lugar, la eficiencia total implica eficiencia completa termodinámica y ésta es imposible.

La idea del control total, la hipermáquina, es, pues, un mito irracional y por lo tanto no sólo es innecesaria para entender el sentido del progreso tecnológico, sino que en realidad es incompatible con éste.

El progreso se puede medir por la proximidad a una meta o por la distancia de un punto de partida. La idea de progreso aplicada a cualquier aspecto de la vida humana es siempre del segundo tipo, aunque prejuicios incrustados en nuestra cultura nos lleven continuamente a la ilusión de concebir metas últimas para la humanidad. Esto es aplicable en concreto al progreso de la ciencia (aspiramos a aumentar nuestros conocimientos verdaderos, pero no a conseguir la verdad completa), de la moral (seguramente somos cada vez menos malos pero no

²⁷ Éste es uno de los argumentos para defender la concepción indeterminista del universo, incluso desde el punto de vista de la física clásica, como propone Popper (1984).

aspiramos a la bondad absoluta),²⁸ del arte (disfrutamos cada vez más con cosas cada vez más bellas, pero la belleza absoluta, si pudiéramos concebirla, seguramente nos aburriría), y de la técnica (queremos controlar más y mejor la realidad, pero no deseamos controlarnos a nosotros mismos y perder la libertad).

El progreso tecnológico es, pues, acumulativo, no teleológico. Es una consecuencia de la búsqueda de eficiencia en nuestras acciones y por lo tanto del mantenimiento de una actitud racional. Y tiene un carácter y un valor específico, que no tienen por qué coincidir con el valor moral.

Pero los criterios internos, basados en la eficiencia y el objetivo de control de la realidad, no son los únicos que utilizamos para evaluar la tecnología. Usamos también valoraciones externas, de carácter económico, social, moral o político. De ellas depende también la forma concreta en que se produce el cambio técnico.

²⁸ Quintanilla (1982a).

VI. EL DESARROLLO TECNOLÓGICO

EL DESARROLLO tecnológico no es autónomo. Además de los criterios internos de eficiencia y sus derivados, para evaluar tecnologías utilizamos también otros criterios que hemos llamado “externos” y que se refieren al valor de la tecnología para la sociedad que se propone usarla o desarrollarla. La evaluación externa de tecnologías es tan esencial para el desarrollo tecnológico como la evaluación interna. Un proyecto tecnológico puede ser factible, sumamente eficiente, efectivo y fiable y, sin embargo, no ser interesante para ningún grupo humano (por ser muy costoso, poco útil, excesivamente perturbador de la estructura social o del entorno natural, demasiado arriesgado o inmoral); en tal caso, se quedará en el limbo de los proyectos posibles que nunca llegaron a ser realidad. Por otra parte, las demandas, las necesidades o los deseos de una sociedad condicionan los objetivos de desarrollo tecnológico tanto como las disponibilidades de recursos materiales, científicos y tecnológicos previos. De ahí que, aunque en función de criterios internos de eficiencia podamos definir el concepto de progreso tecnológico en los términos en que lo hemos hecho en el capítulo anterior, la forma concreta en que se desenvuelve la tecnología y se lleva a cabo el incremento de la capacidad de control humano sobre la realidad depende del valor que los grupos sociales asignen a los diferentes objetivos posibles y a los niveles de eficiencia tecnológica alcanzables en cada caso.

En las técnicas preindustriales la evaluación externa se hace de forma implícita: nadie construye una herramienta sin la pretensión de que sea útil, ni un puente por donde no pase nadie. En las tecnologías industriales de base científica los criterios de valoración externa influyen tanto en la determinación previa de objetivos para el diseño tecnológico como en la decisión última de implementar, aplicar o comercializar el nuevo sistema diseñado. En las sociedades actuales, en las que el desarrollo tecnológico es un componente decisivo de toda la dinámica social, la evaluación externa de tecnologías no sólo es explícita y sistemática, sino que se sitúa en el centro de las preocupaciones sociales, ha adquirido formas institucionalizadas y plantea continuos problemas de carácter metodológico, organizativo y político.

La importancia actual de la evaluación externa de tecnologías está justi-

ficada. En primer lugar, porque las tecnologías de hoy afectan, como sabemos, a toda la sociedad de múltiples formas y sobre todo a las posibilidades futuras de desarrollo económico, social y cultural de la humanidad. En segundo lugar, porque el cambio tecnológico es muy rápido y se hace cada vez más necesario prever las consecuencias que la implantación de una tecnología puede tener para el futuro. En tercer lugar, porque hemos llegado a convencernos de que el desarrollo tecnológico depende de decisiones humanas y de que tal desarrollo se puede orientar en múltiples direcciones, de acuerdo con nuestros intereses, o en contra de ellos.¹

Por desgracia, la necesidad de la evaluación social de las tecnologías es mucho más evidente que la disponibilidad de criterios y métodos efectivos para llevarla a cabo, aunque en los últimos años se han dado pasos positivos.² Los resultados más notables han sido, por una parte, la generalización de los análisis de impacto ambiental;³ por otra parte, la aplicación de técnicas econométricas al estudio de las repercusiones de las opciones tecnológicas sobre el sistema productivo,⁴ y por último la progresiva toma de conciencia de que, ante la imposibilidad de prever todas las consecuencias futuras de una innovación tecnológica, es preciso al menos establecer cauces de participación de los usuarios y posibles afectados en la política de desarrollo tecnológico.⁵

En este capítulo nos ocuparemos, en primer lugar, de caracterizar el marco en el que se produce la evaluación social o externa de las tecnologías: los programas de I+D. Analizaremos después dos clases de evaluación externa (evaluación de idoneidad y evaluación de consecuencias), los criterios implicados en ellas y los problemas conceptuales que plantean. Por último, comentaremos la dimen-

¹ El famoso informe de la OCDE (1979) señala seis factores relevantes de la ciencia y la tecnología actuales para explicar el interés público por lo que aquí llamamos la evaluación externa de tecnologías: la rapidez del cambio científico-técnico, la novedad de los problemas que el desarrollo científico-técnico plantea, la complejidad e interdependencia de los proyectos tecnológicos, la irreversibilidad de los efectos del desarrollo tecnológico en muchos campos, los problemas morales que suscitan las nuevas posibilidades tecnológicas y la sensibilidad de la opinión pública ante los riesgos potenciales del desarrollo tecnológico.

² Porter *et al.* (comps.) (1980), Carpenter (1977).

³ El origen de los análisis de impacto ambiental hay que situarlo en la promulgación de la Ley de Política Nacional del Medio Ambiente (1970) en Estados Unidos, que obliga a elaborar informes de impacto ambiental para todos los proyectos financiados con presupuesto estatal, regula el procedimiento de participación y de reclamación pública en relación con esos proyectos, y crea la Agencia para la Protección del Medio Ambiente.

⁴ Especialmente en el contexto de las discusiones sobre tecnologías "apropiadas" para países menos desarrollados. Una visión panorámica, en P. Dasgupta (1983).

⁵ Ésta es una de las conclusiones más generalizadas entre los asistentes al Congreso de Ámsterdam sobre evaluación de tecnologías. Cf. Smits *et al.* (1987), documento preparado para el Congreso Europeo sobre Evaluación Tecnológica, Ámsterdam, 1987.

sión política que han adquirido en la actualidad el desarrollo y la evaluación de tecnologías.

1. PROGRAMAS DE I+D

El desarrollo sistemático de nuevas tecnologías mediante programas de I+D es una característica fundamental del entramado científico-tecnológico de la sociedad de nuestros días. Un *programa de I+D* es un plan de acción cuyo objetivo es promover la investigación científica, el diseño y la evaluación de tecnologías. El supuesto básico que subyace a un programa de I+D es que el desarrollo del conocimiento científico y tecnológico en un área determinada aumenta las posibilidades de diseño de nuevas tecnologías de interés para los fines que persigue el grupo social (empresa, país, gobierno, etc.) que patrocina el programa. En la actualidad, la mayor parte de la investigación científica y la mayor parte de la innovación tecnológica se producen por medio de programas de I+D.

En un programa de I+D se combinan decisiones políticas, actividades de investigación científica y de diseño tecnológico, y procesos de evaluación interna y externa. El diagrama adjunto representa los rasgos básicos de la estructura de un programa de I+D y sus relaciones con el entorno científico, social y político.

Un programa de I+D responde siempre a objetivos de desarrollo social o económico. Éstos a su vez se determinan en función, por una parte, de las necesidades y deseos o fines del grupo social; por otra, en función de los recursos científicos y tecnológicos previamente disponibles. El contexto social y científico-técnico del programa puede considerarse con diferentes grados de amplitud: desde la escala de la investigación llevada a cabo por una empresa o grupo de empresas, hasta la escala internacional, pasando por la escala de las políticas de desarrollo científico-técnico de carácter nacional. La determinación de un objetivo condiciona la elaboración de un programa de I+D, que implica tres tipos de actividades: actividades de investigación, actividades de desarrollo (diseño de sistemas, fabricación de prototipos) y actividades de evaluación (evaluación previa de factibilidad e idoneidad, y evaluación *a posteriori* de eficiencia y de impacto o de consecuencias). Una vez completado un programa de I+D, éste puede dar lugar a la ejecución o implementación de un sistema, a la revisión de los objetivos iniciales o al abandono del programa. En todo caso, el resultado revierte tanto sobre el sistema de necesidades e intereses sociales como sobre el repertorio de recursos científicos y tecnológicos.

El desarrollo tecnológico, mediante programas de I+D, tiene repercusiones

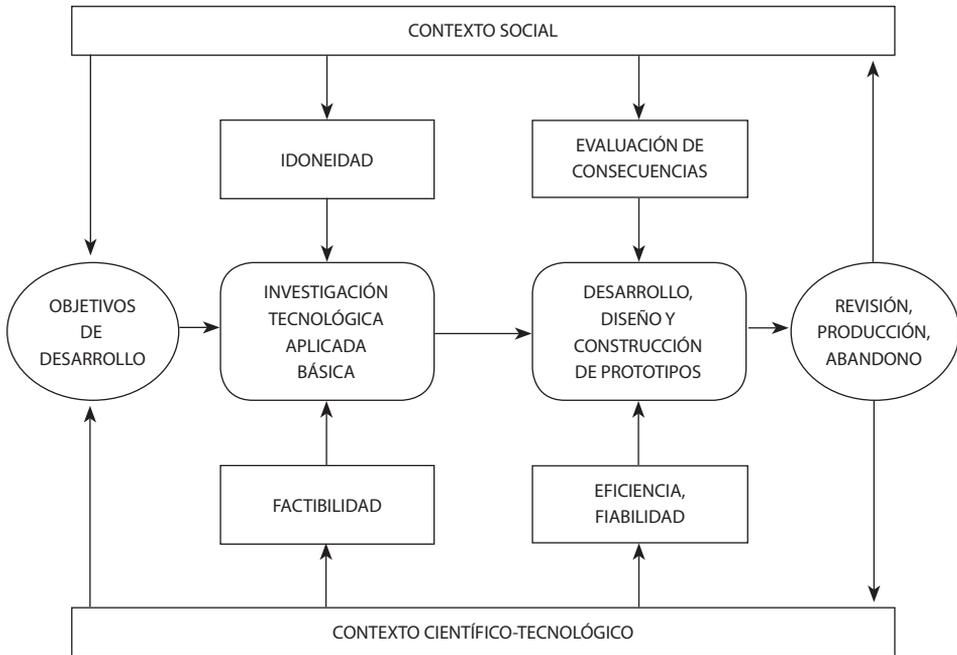


FIGURA VI.1. Evaluación de programas de I+D.

respecto a las modalidades de la investigación y a las relaciones entre tecnología y ciencia que debemos tener en cuenta para matizar el modelo abstracto que utilizamos en el capítulo anterior. En concreto, las tareas de investigación se pueden clasificar en los tipos señalados en el cuadro VI.1.

El objetivo de la investigación básica es el incremento del conocimiento científico en general. Sus resultados característicos son el descubrimiento de nuevas teorías, hechos y regularidades legales y la explicación o predicción de fenómenos de cierta clase. La investigación estratégica es investigación básica orientada a determinado ámbito de la realidad en el que se espera obtener conocimientos científicos nuevos que potencialmente sean interesantes para posibles aplicaciones tecnológicas (por ejemplo, las investigaciones en biología molecular seguramente nos ayudarán a encontrar soluciones para la curación del cáncer).

El objetivo de la investigación aplicada es utilizar el método científico para incrementar el conocimiento de las propiedades y el comportamiento de sistemas concretos de posible interés práctico. La investigación aplicada se considera, por definición, orientada a objetivos específicos, pero éstos pueden ser objetivos de interés estrictamente científico y objetivos de interés tecnológico. En el primer

CUADRO VI.1. *Modalidades de investigación*

<i>Investigación básica</i>	Estratégica No orientada
<i>Investigación aplicada</i>	A objetivos científicos A objetivos tecnológicos

caso, hablamos de investigación científica aplicada. En el segundo, se suele hablar de investigación tecnológica. La diferencia estriba en los criterios de valoración de los resultados que en uno y otro caso se utilizan. En el primer caso, lo que interesa es obtener conocimiento verdadero acerca de la realidad estudiada (la descripción completa del genoma humano, por ejemplo). En el segundo, conocimiento útil con vistas a la resolución de problemas prácticos, es decir, al diseño de sistemas tecnológicos (el diseño de un procedimiento para curar el cáncer, por ejemplo).⁶

Los límites entre investigación científica aplicada e investigación tecnológica son difusos. La razón es que el conocimiento científico de las propiedades de sistemas concretos puede ser por sí mismo útil para posibles desarrollos tecnológicos. Y a la inversa: los resultados obtenidos investigando sobre propiedades de sistemas artificiales pueden tener un valor científico intrínseco.

Las relaciones entre los diversos tipos de investigación en los programas de I+D pueden verse desde dos perspectivas. *De abajo arriba*, el conjunto de la investigación científica y tecnológica parece una gran pirámide, asentada en un amplio sustrato de conocimientos científicos desinteresados, sobre los que se define un área de posible interés estratégico a partir de la cual la investigación se va especializando hasta concretarse en un diseño tecnológico que responde a necesidades sociales específicas. *De arriba abajo*, el sistema se puede ver justamente a la inversa: el punto de partida son las necesidades del sistema social que definen objetivos de potencial interés tecnológico, a partir de los cuales se inician los procesos de investigación aplicada y éstos a veces dan lugar a descubrimientos científicos de carácter básico que tienen un interés más general.

Es usual que científicos e investigadores tiendan a ver el sistema de abajo arriba, mientras que economistas, políticos y planificadores prefieran la perspectiva de arriba abajo. La realidad, sin embargo, no admite ninguna de las dos simplificaciones. El desarrollo científico y tecnológico requiere el avance de la inves-

⁶ Véase Bunge (1983, vol. VI, cap. 14).

tigación en todos los frentes. La definición de objetivos rara vez viene dada de antemano de forma rígida y definitiva. Por el contrario, inicialmente los objetivos se fijan de forma un tanto difusa y como resultado de un compromiso entre las necesidades sociales que se pretende satisfacer con el desarrollo tecnológico y las posibilidades de desarrollo efectivo que el conocimiento científico y tecnológico disponible permite conjeturar. Posteriormente, la evaluación de los resultados obtenidos de la propia investigación y la necesidad de afrontar los nuevos problemas surgidos en la fase de fabricación, en su caso, permiten concretar los objetivos, u obligan a modificarlos o a abandonarlos. El programa que condujo al descubrimiento del transistor y luego al desarrollo de circuitos integrados se inició con objetivos prácticos poco definidos. Se partía de la necesidad de encontrar componentes electrónicos más fiables y de menor consumo energético que las habituales válvulas de vacío, de alguna experiencia con materiales semiconductores utilizados en las emisiones de radar y de conjeturas respecto al funcionamiento de los semiconductores fundadas en la mecánica cuántica. La investigación condujo al primer diseño de transistor que se concibió como un sustituto individual de las válvulas de vacío; después se descubrió una variante de diseño (tecnología MOS: unión de superficies de metal, óxido y semiconductor) que permitía la producción en gran escala y la integración de varios componentes electrónicos en un mismo circuito. Por último, un encargo comercial llevó al diseño del primer procesador integrado en un solo circuito. Y esto llevó a la investigación sobre sistemas de alta integración que a su vez ha dado pie a nuevas investigaciones aplicadas sobre semiconductores alternativos, etcétera.⁷

Esta compleja realidad de los programas de I+D obliga a revisar una concepción tradicional y excesivamente idealista de la investigación científica como una actividad axiológicamente neutra. De hecho, el desarrollo del conocimiento científico depende, por una parte, de valores y objetivos o finalidades sociales y tecnológicos, pero por otra parte contribuye a su vez a definir esos objetivos y a veces a justificar ideológicamente esos valores.⁸ El investigador no se enfrenta a un problema en el espacio infinito de todas las posibilidades lógicas, sino en el mucho más restringido de los proyectos de investigación que es posible llevar a cabo en función de los medios disponibles, de las prioridades sociales y de las expectativas, razonables o no, respecto a posibles progresos en un campo concreto. Precisamente por ello el reto más importante que se plantea al diseñar un pro-

⁷ Braun y Macdonald (1978).

⁸ Quintanilla (1976a).

grama de I+D es compatibilizar el genuino interés científico y tecnológico del programa con su utilidad social. Para ello es decisivo contar con criterios adecuados de evaluación.

2. IDONEIDAD Y CONSECUENCIAS

La evaluación externa de una tecnología puede ser de dos tipos, según se refiera a las propiedades de una tecnología o a las consecuencias que su uso o aplicación puede tener. En el primer caso hablaremos de la *idoneidad* de una tecnología o de una aplicación tecnológica; en el segundo, del *impacto* o de *las consecuencias* de tal aplicación.

Una tecnología T es *idónea* para un grupo social G cuyas finalidades son F si, y solamente si, T es una de las opciones tecnológicas de G para F (véase el cap. IV).

La idoneidad depende, pues, de la disponibilidad de la tecnología, de sus usos posibles y de su adecuación a los fines que se propone el grupo.

La evaluación de idoneidad se puede realizar sobre un conjunto de alternativas tecnológicas ya desarrolladas y comprobadas respecto a su factibilidad y eficiencia o sobre los objetivos y resultados parciales de un programa de I+D. En el primer caso se trata en realidad de una evaluación de utilidad que se puede llevar a cabo mediante el análisis de costes y beneficios. En el segundo caso se plantea una dificultad específica: la utilidad pronosticada para un objetivo de desarrollo tecnológico puede resultar alterada una vez que se ha avanzado en la investigación de factibilidad operacional o se han determinado los valores de eficiencia, efectividad, fiabilidad y seguridad. Por ejemplo, cuando se inició el programa de I+D para el control de la energía de fusión se atribuía un alto valor de utilidad a los objetivos del programa, basado fundamentalmente en un elevado grado de confianza en la factibilidad del proyecto, y en la convicción de que la energía de fusión sería barata, inagotable, limpia y segura. La experiencia obtenida con el JET (*Joint European Torus*) hizo que algunos expertos dudaran de la idoneidad del proyecto: el criterio de factibilidad científica que se viene utilizando (criterio de Lawson) no garantiza la factibilidad tecnológica en las condiciones de rendimiento y fiabilidad que se pretenden. Por otra parte, el coste del programa se considera ahora desproporcionado en relación con otros programas alternativos para el desarrollo de tecnologías de producción y aprovechamiento de energía. De forma que un proyecto que contaba con una elevada valoración de idoneidad en la década de los setenta (cuando la sensibilidad respecto al encarecimiento y posible agotamiento de los recursos energéticos tradicionales llegó a su punto

crítico con la crisis del petróleo) se encuentra sometido en la actualidad a serios reparos.⁹

La evaluación de consecuencias se refiere a usos concretos de una tecnología. En el caso de una tecnología disponible, de lo que se trata es de valorar las consecuencias que pueda tener su aplicación por parte de un grupo social en unas circunstancias concretas. Son, pues, los proyectos tecnológicos los que se someten, en tal caso, a controles de impacto ambiental, análisis de riesgos, etc. En el caso de un programa de I+D, la evaluación de consecuencias se realiza a partir de la fase de diseño y de lo que se trata es de juzgar las consecuencias de las aplicaciones potenciales del sistema en una gama amplia de circunstancias posibles.

El problema más importante que se plantea en la evaluación de consecuencias es la dificultad de calcular la probabilidad de que se produzcan determinados acontecimientos como consecuencia del uso de una tecnología en circunstancias concretas. Recordemos (cap. III) que cabe distinguir dos tipos de consecuencias de una acción o de un sistema de acciones, directas e indirectas o colaterales, y que distinguíamos también diversos órdenes jerárquicos en la cascada de consecuencias de una acción en función de la composición de nuevas acciones sobre los resultados de la primera. El cálculo de las consecuencias de primer orden que se derivarán de la introducción de una tecnología en circunstancias concretas bien determinadas no es imposible. Por ejemplo, podemos calcular de antemano la cantidad de combustible que se requerirá para alimentar una central térmica, la composición química de los subproductos de la combustión, el impacto sobre el paisaje que tendrá su construcción o la utilidad esperada de la producción de energía que se logre con ella. Sin embargo, cuando se trata del diseño de un nuevo sistema el cálculo de estas consecuencias sólo se podrá hacer de forma aproximada y, para ser más preciso, tendrá que apoyarse en experiencias sobre prototipos o plantas piloto. Por otra parte, a medida que ascendemos en el orden jerárquico de las consecuencias, el cálculo se complica extraordinariamente: no es lo mismo el riesgo de una central nuclear en un paraje desértico que en una zona densamente poblada, ni es igual el impacto ambiental de los efluentes contaminantes de una central térmica en una zona seca que en una húmeda, y las consecuencias del uso de pesticidas agrícolas pueden ser inocuas o desastrosas si se produce una acumulación de contaminantes a lo largo de la cadena trófica, etcétera.

En la evaluación de consecuencias tiene un papel importante el conocimien-

⁹ Véase el documento STOA (1988) preparado por la Oficina de Evaluación de Opciones Científicas y Tecnológicas del Parlamento Europeo. A pesar de este informe, el Parlamento aprobó la continuidad del proyecto, valorando su importancia como proyecto de investigación estratégica.

to de determinadas características intrínsecas de la tecnología en cuestión. Concretamente, la fiabilidad y eficiencia del sistema, la magnitud e intensidad de las acciones involucradas y la irreversibilidad de sus resultados. Cuanto mayor sea la fiabilidad y eficiencia menor será el margen de resultados inesperados y más estrecho el marco de acontecimientos posibles que se deben considerar para el cálculo de las consecuencias. Por otra parte, cuanto menor sea la importancia o magnitud del sistema menores serán las repercusiones sobre variables no controladas por la propia tecnología, y cuanto menor sea la intensidad mayor será el tiempo disponible para corregir efectos secundarios no deseables. Por último, el carácter reversible de los resultados facilitará la experimentación y el ensayo de aplicaciones, mientras que la irreversibilidad de los resultados de una aplicación tecnológica aumentará el riesgo y la incertidumbre en la evaluación.

Cabe distinguir tres tipos principales de criterios para la evaluación de consecuencias: riesgos, impacto ambiental e impacto social.

El *riesgo* asociado a la aplicación de una tecnología se refiere a las consecuencias negativas que la misma puede tener para la vida humana, la salud o el bienestar de la población potencialmente afectada. La evaluación de riesgo consiste en calcular el producto de la probabilidad de que se produzcan consecuencias no deseadas por el valor de utilidad (el disvalor o coste) de esas consecuencias. En la evaluación de riesgos interviene, pues, un factor subjetivo, la valoración del perjuicio potencial para la vida humana, la salud, etc., que hace a veces difícil establecer un procedimiento racional de evaluación. El riesgo de accidente grave (explosión del núcleo del reactor) en una central nuclear es efectivamente muy pequeño en relación con otros sistemas tecnológicos, pero las consecuencias de un accidente semejante apenas se han empezado a conocer en toda su magnitud tras la experiencia de Chernobyl, y la percepción subjetiva del riesgo por parte de la población potencialmente afectada es sin duda muy superior al riesgo real. Desde luego, cabe establecer evaluaciones comparativas (calculando la tasa de mortalidad por accidentes nucleares respecto a la tasa por accidentes de circulación, por ejemplo), pero con ello no se resuelven los problemas fundamentales que se plantean en el caso de aplicación de tecnologías nuevas: en primer lugar, los riesgos son acumulativos, de forma que lo que hay que comparar no es el riesgo de la nueva tecnología en relación con el de tecnologías previas que están siendo ya aplicadas, sino la diferencia entre el riesgo que corre la población antes y después de la aplicación de la nueva tecnología; en segundo lugar, hay que tener en cuenta que la valoración subjetiva del perjuicio potencial no es homogénea entre toda la población, lo que plantea problemas añadidos a la hora de establecer pro-

cedimientos racionales de decisión (los habitantes próximos a una central nuclear no suelen ser los responsables de la decisión de instalarla; los operadores de sistemas informáticos cuya visión puede verse afectada por las pantallas de rayos catódicos no suelen ser los que deciden la informatización de su oficina, etcétera).

La evaluación de *impacto ambiental* se refiere a las consecuencias que puede tener la aplicación de una tecnología sobre el entorno físico en que se produce. El impacto puede referirse a cualquiera de las variables relevantes para definir el entorno, desde variables físicas (geológicas, químicas, biológicas, atmosféricas) hasta variables estéticas (impacto sobre el paisaje).¹⁰ La perspectiva más común adoptada en los análisis de impacto ambiental es la ecológica: se trata de establecer hasta qué punto la introducción de una nueva tecnología en un hábitat concreto puede alterar en forma irreversible o no alterar las condiciones de equilibrio ecológico. La evaluación de impacto ambiental no tiene, sin embargo, por qué limitarse al entorno físico inmediato. En los últimos tiempos ha aumentado la preocupación por fenómenos de impacto ambiental que pueden estar muy alejados del punto geográfico en que tienen su origen: la lluvia ácida puede afectar a bosques alejados de la zona en que se produce la contaminación, el agujero de ozono de la Antártida y el paulatino aumento de la temperatura de la superficie de la Tierra se deben a fenómenos de carácter planetario.

Por último, la evaluación de *consecuencias sociales* está adquiriendo cada vez mayor importancia debido a la trascendencia que las nuevas tecnologías tienen en todos los órdenes de la vida social. El caso paradigmático es el de las tecnologías de la información y las comunicaciones y sus efectos sobre el empleo, el ocio, la cultura, la organización industrial, etc., pero cualquier otra tecnología de cierta importancia puede tener consecuencias sociales considerables: ténganse en cuenta, por ejemplo, las consecuencias de la introducción del ferrocarril en el siglo XIX o del automóvil en el siglo XX, o de la construcción de grandes embalses en las zonas rurales, etc. Los problemas específicos que se plantean en la evaluación de consecuencias sociales (además de los que comparten con la evaluación de riesgos y de impacto ambiental) se deben a la amplitud e indefinición del conjunto de posibilidades que hay que considerar y a la ausencia de un punto de referencia estable. En efecto, cualquier tecnología de cierta importancia terminará alterando en mayor o menor medida la estructura social, las costumbres, la vida cotidiana, etc. Por otra parte, a diferencia de la evaluación de riesgos o de impacto ambiental, en las que se supone que hay valores de referencia objetivos (la salud o el bienes-

¹⁰ González Bernáldez (1981).

tar de los potenciales afectados, el equilibrio ecológico, etc.), en la evaluación de consecuencias sociales no existe nada parecido: aun sabiendo que la introducción de una tecnología tendrá efectos decisivos sobre la estructura social, la valoración de estos efectos no puede hacerse con referencia a un criterio objetivo establecido, salvo que se asumiera por principio que cualquier cambio social es indeseable, en cuyo caso la única conclusión válida es que también será indeseable cualquier cambio tecnológico.

En cierto modo se puede decir que todas las tecnologías tienen consecuencias sociales irreversibles y lo que hay que evaluar en este caso, más que el interés inmediato de la aplicación de una tecnología, es la dirección y el tipo del cambio social que puede generarse a partir de su introducción y difusión. Dicho con otras palabras, lo que se plantea al evaluar las consecuencias sociales de una tecnología no es tanto el interés específico de esa tecnología para cubrir necesidades u objetivos concretos cuanto el modelo de desarrollo social y económico que se persigue y la contribución de la tecnología en cuestión a ese modelo de desarrollo. Sabemos, por ejemplo, que el impacto de la informática y de la robotización sobre el empleo va a ser considerable, pero la opción no se plantea entre diversas estructuras de empleo con un mismo nivel de desarrollo económico y social, sino entre diversos niveles y tipos de desarrollo asociados inevitablemente a diferentes estructuras ocupacionales determinadas por la forma de difusión y desarrollo de la tecnología informática.

Las dificultades inherentes a la evaluación de consecuencias no disminuyen la importancia de ésta en el desarrollo tecnológico, pero sí obligan a revisar enfoques excesivamente simplificadores de la tarea que se va a realizar. En concreto, no parece razonable esperar que tales problemas se puedan resolver mediante la simple aplicación de técnicas de cálculo, y en cambio parece imponerse cada vez con más fuerza la convicción de que debe centrarse la atención en los procesos de participación del conjunto de la sociedad en la evaluación tecnológica y en la adopción de decisiones. En esta forma la evaluación externa de la tecnología adquiere una dimensión ineludiblemente política.

3. EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS Y DECISIONES POLÍTICAS

A partir de la segunda Guerra Mundial el desarrollo científico y tecnológico ha ido creciendo en importancia política. Los gobiernos de los países desarrollados

podieron tomar conciencia de la importancia estratégica de la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías, tanto en el plano militar como en el del desarrollo industrial y económico en general. Y en los países en vías de desarrollo pronto se extendió la idea de asociar a los planes de desarrollo económico programas de desarrollo científico y tecnológico necesarios tanto para hacer posible la transferencia de tecnología de países más avanzados como para garantizar unas condiciones mínimas de independencia nacional. Por último, organismos internacionales como la UNESCO o la OCDE han impulsado programas de cooperación internacional en los que los programas de I+D han ocupado un papel central. Se ha pasado así de una situación en la que el desarrollo tecnológico era competencia de las empresas y de las instituciones de investigación (universidades, laboratorios públicos o privados, etc.) a la situación actual en la que, sin merma de tales iniciativas, la I+D se considera uno de los sectores importantes de intervención política, tanto por lo que se refiere a la determinación de objetivos como a la evaluación de resultados. Una de las consecuencias de esta dimensión política es la creación de organismos públicos especializados en política y planificación de la ciencia y la tecnología, tanto en la esfera gubernamental como en la parlamentaria.¹¹

La propia expresión “evaluación de la tecnología” (*technology assessment*) tiene su origen en la iniciativa de crear la Oficina de Evaluación de Tecnologías (OTA: Office of Technology Assessment) en el Congreso de Estados Unidos. El objetivo inicial era crear un servicio que pudiera asesorar a los congresistas estadounidenses acerca de las consecuencias derivadas de la adopción de decisiones políticas referidas a la introducción o desarrollo de tecnologías nuevas. Aunque las realizaciones iniciales de la OTA no se ajustaron a las esperanzas que se habían puesto en ella, la iniciativa contribuyó a definir con mayor precisión el propio planteamiento de los problemas metodológicos, políticos e institucionales asociados a la evaluación de tecnologías. En la actualidad la propia experiencia de la OTA y de otras instituciones semejantes creadas en muchos países, tanto en el nivel gubernamental como parlamentario e incluso de carácter privado, ha dado lugar a una abundante bibliografía y a una notable clarificación de los problemas que hay que afrontar y de los métodos para hacerlo.¹²

¹¹ En España se ha dado un paso definitivo en este sentido con la aprobación por parte del Parlamento de la Ley de la Ciencia (abril, 1986), que crea la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, la figura del Plan Nacional de I+D y, en el nivel parlamentario, la Comisión Mixta de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico.

¹² La información más completa y actual está recogida en las Actas (1987) del Congreso de Ámsterdam sobre evaluación de tecnologías. En España la revista *Telos* 12 (1987-1988, pp. 49-104) publicó un

Para empezar, se ha ido creando un amplio consenso respecto de la tarea misma de evaluación de tecnologías entendida como especialidad académica: la idea básica que subyace en los estudios de evaluación tecnológica es que “será más fácil dirigir el desarrollo tecnológico si se llevan a cabo investigaciones sobre los efectos que una tecnología puede tener sobre la sociedad desde el momento en que se introduzca”.¹³ A partir de esta idea común la concepción de la evaluación de tecnologías ha evolucionado y se han dado diferentes definiciones. En la actualidad se distinguen dos concepciones: la concepción reactiva y la activa o constructiva.¹⁴ En los años setenta predominó una concepción “reactiva” de la evaluación tecnológica como “sistema de alerta temprana” cuyo objetivo era prevenir las posibles consecuencias sociales indeseables que pudiera tener la introducción de una nueva tecnología y las alternativas existentes con objeto de que los agentes responsables de tomar decisiones (parlamentarios o responsables del gobierno) tuvieran el máximo de información posible y pudieran tomar medidas correctoras.

La experiencia de la OTA y otras instituciones similares ha llevado sin embargo a constatar: 1) que, en contra de lo que se pretendía, los dictámenes de expertos tenían escasa influencia sobre las decisiones políticas; 2) que el objetivo inicialmente propuesto de análisis de todas las consecuencias sociales potenciales de una tecnología era imposible de cumplir en forma objetiva y neutral; 3) que, con vistas a la adopción de decisiones políticas, la participación de los responsables de las decisiones en el proceso de evaluación era más decisiva que la recepción de información en cuya elaboración no habían participado.¹⁵

Por otra parte, se ha producido un cambio de perspectiva conceptual hacia una nueva actitud “activa” en la que la evaluación tecnológica se centra más en los problemas sociales y en las posibles respuestas que el desarrollo tecnológico puede dar a tales problemas y no sólo en las consecuencias perturbadoras para la sociedad de desarrollos tecnológicos ya en marcha.

La definición que se propuso en el Congreso de Ámsterdam para la ET responde a la concepción más ampliamente aceptada en la actualidad: “La evaluación de tecnologías es un proceso consistente en el *análisis* de los desarrollos tecnológicos y de sus consecuencias, y en *las discusiones* que surgen a partir de tales

dossier muy útil y actualizado sobre evaluación de tecnologías con trabajos de Castilla, Ros, Sanz Menéndez, Tuininga, Linkhor y Procter.

¹³ Smits *et al.* (1987), p. 2.

¹⁴ Leyten y Smits (1987, pp. 5-6).

¹⁵ R. Mayntz (1982).

análisis. El objetivo de la ET es generar una información que sirva de ayuda en la determinación de la política *estratégica* de desarrollo tecnológico por parte de quienes tengan esa responsabilidad y que facilite la definición de los temas susceptibles de ulterior investigación para evaluación tecnológica”.¹⁶

La historia y la realidad actual de la institucionalización de la evaluación de tecnologías son ilustrativas de la complejidad de las interacciones sociales que inciden sobre el desarrollo tecnológico. De hecho, las instituciones de ET son organismos híbridos, de carácter científico, pero al servicio de intereses políticos, y la metodología de trabajo que han desarrollado (de carácter multidisciplinario, abierto, prospectivo y participativo) constituye un buen ejemplo de la necesidad de afrontar con métodos y estrategias nuevas los nuevos retos que el desarrollo tecnológico plantea a la actividad política. Se trata, sin embargo, de experiencias aún no consolidadas y que tienen por delante un largo camino de maduración y no pocas dificultades que superar, tanto de orden político como científico.¹⁷ No es fácil, en concreto, distinguir hasta qué punto la ET tiene de hecho más una función de legitimación de decisiones adoptadas en función de criterios estrictamente políticos que de esclarecimiento racional de las opciones tecnológicas posibles, ni está definitivamente resuelto el problema de hacer compatibles los cauces normales de participación política en las democracias representativas con los nuevos cauces de participación en la toma de decisiones sobre el desarrollo tecnológico que los métodos de la ET propician.

En todo caso, la institucionalización de la ET supone un serio ensayo de abrir nuevos cauces y nuevos métodos para dar respuesta al problema más importante que el desarrollo tecnológico plantea en nuestros días: éste depende cada vez más de decisiones libremente adoptadas por la sociedad, pero las decisiones que la sociedad adopta en este terreno condicionan en forma cada vez más estrecha las posibilidades de opciones futuras. Y no se ve otra forma de hacer frente a esta situación que no sea procurando aumentar la *información científica* disponible acerca de las opciones tecnológicas y la *participación* de la sociedad en la adopción de tales decisiones.

¹⁶ Smits *et al.* (1987), pp. 19-20.

¹⁷ Castilla (1987-1988) señala, por ejemplo, la importancia de introducir el análisis de causas, y no sólo de impactos, en el marco conceptual de la evaluación social de tecnologías.

Anexo
FORMALISMOS DE LA TEORÍA DE SISTEMAS
Y DE LOS SISTEMAS DE ACCIONES

1. SISTEMA ABSTRACTO

La noción matemática de sistema es equivalente a la de estructura. Dados un conjunto S y un conjunto de relaciones F_1, \dots, F_n en S , decimos que $S = \langle S, F_1, \dots, F_n \rangle$ es una estructura en el conjunto S . Si las relaciones F_i son funciones, entonces decimos que la estructura es algebraica. Un *sistema abstracto* es una estructura matemática.

2. SISTEMA CONCRETO

Un *sistema concreto*, es decir, un objeto cualquiera, se puede *representar* por un sistema abstracto en el que el conjunto $S = (C \cup E)$ representa el conjunto de los elementos o componentes del sistema (C) y de su entorno (E) y F_1, \dots, F_n las propiedades del sistema. En el lenguaje corriente caracterizamos un objeto concreto cualquiera por sus componentes, su entorno y sus propiedades (incluyendo como propiedades las relaciones entre sus componentes y con el entorno). Es decir, lo caracterizamos como un sistema.

3. REPRESENTACIÓN DE UN SISTEMA

Una forma usual de representar un sistema es asignar valores numéricos en el conjunto R de los números reales a las funciones F_1, \dots, F_n que representan las propiedades del sistema tomando un marco de referencia M (y en ocasiones un intervalo temporal T que nos permite representar la *duración* del sistema) que es otro sistema concreto, respecto al cual se asignan valores a las variables o propiedades F_1, \dots, F_n del sistema. De manera que una forma más completa de representar un sistema sería la siguiente:

$S = \langle S, T, M, R, F_1, \dots, F_n \rangle$ representa un sistema concreto (sin su entorno) si y sólo si:

- i) S representa el conjunto de componentes concretos del sistema.
- ii) T representa la duración del sistema.
- iii) M representa un conjunto marco de referencia.
- iv) R es el conjunto de los números reales.
- v) F_1, \dots, F_n es una serie de funciones de la forma $F_i : S_k \rightarrow R$, donde $F_i(s_1, \dots, s_k) = r$, que representan las propiedades de los componentes del sistema; o de la forma $F_i : T \times M \rightarrow R$, donde $F_i(t, m) = r$, que representan las propiedades globales del sistema.

Este esquema general vale para la representación cuantitativa de cualquier sistema concreto. Una representación cualitativa tiene la misma forma, si bien podemos entender entonces que los valores de las funciones F_1, \dots, F_n (o de un subconjunto de ellas: las que representen propiedades cualitativas) se restringen al subconjunto $\{0, 1\}$, interpretándose entonces que los elementos s_1, \dots, s_k no tienen la propiedad (relación k -ádica) representada por F_i si $F_i(s_1, \dots, s_k) = 0$ y sí la tienen si $F_i(s_1, \dots, s_k) = 1$.

En lo sucesivo, por comodidad y salvo que sea necesario hacer referencia a T , M o R , utilizaremos la fórmula $S = \langle S, F_1, \dots, F_n \rangle$ para representar un sistema.

4. OTRAS NOCIONES DE LA TEORÍA DE SISTEMAS

Subsistema: Dado un sistema $S = \langle S, F_1, \dots, F_n \rangle$, decimos que $S' = \langle S', F'_1, \dots, F'_n \rangle$ es un subsistema de S (si y sólo si):

- i) Todos los elementos de S' lo son de S ($S' \subseteq S$).
- ii) Cada F'_i de S' es la restricción de F_i a S' .
- iii) La duración de S' está incluida en la de S .

Sistema modelo: S' es un sistema *modelo* de S sii es una imagen homomorfa de él. Un sistema S' es la *imagen homomorfa* de S bajo una aplicación H sii:

- i) $H: S \rightarrow S'$ es una correspondencia suprayectiva de S en S' .
- ii) La duración de S' es igual o superior a la de S .
- iii) Para cada función F_i de S existe una función F'_i en S' con el mismo número de argumentos tal que $F_i(s_1, \dots, s_k) = F'_i(H(s_1), \dots, H(s_k))$.

Equivalencia de sistemas: Si en la definición anterior la aplicación H es biyectiva, los sistemas son isomorfos. Así pues, dos sistemas son isomorfos si existe una aplicación biyectiva que ponga en correspondencia sus componentes y propiedades. Diremos que dos sistemas son equivalentes si son isomorfos.

El *estado de un sistema* S en el instante $t \in T$ está representado por la n -tupla de valores $\langle r_1, \dots, r_n \rangle$ de las funciones F_1, \dots, F_n que representan las propiedades del sistema. Dada una representación de un sistema $S = \langle S, T, F_1, \dots, F_n \rangle$ en el intervalo temporal T , la expresión $e(t) = \langle r_1, \dots, r_n \rangle$ representa el estado del sistema en el momento t .

El *espacio de estados* de S en T es el conjunto de todos los estados del sistema durante la duración del mismo: $E(T) = \{e(t): t \in T\}$. La expresión “espacio de estados” está justificada porque es obvio que cada estado de un sistema $S = \langle S, F_1, \dots, F_n \rangle$ se puede representar como un punto en un espacio de n dimensiones.

Acontecimiento: Dado un sistema S y dos estados posibles de S en T , $e(t)$, $e(t')$, con $t' > t$, diremos que $a(t, t') = \langle e(t), e(t') \rangle$ es el acontecimiento en S que consiste en pasar del estado $e(t)$ al estado $e(t')$ en el intervalo temporal $\langle t, t' \rangle$. Para simplificar la notación abreviamos la expresión $a(t, t') = \langle e(t), e(t') \rangle$ con la fórmula $a = \langle e, e' \rangle$, cuyo significado es obvio. Diremos que en el acontecimiento $a = \langle e, e' \rangle$ el estado e representa el *estado inicial* del sistema y e' representa el *estado final*.¹

Para representar acontecimientos en un sistema utilizaremos un *espacio de* $n + 1$ dimensiones, añadiendo un eje que representa el tiempo. Al resultado $E(S)$ podemos denominarlo *espacio de los acontecimientos* del sistema S .

Procesos: Decimos que dos acontecimientos sucesivos en un sistema están *concatenados* y consideraremos la concatenación de acontecimientos como un acontecimiento. Un proceso en un sistema durante un intervalo de tiempo $\langle t, t' \rangle$ es el conjunto de los estados por los que pasa el sistema durante ese intervalo. Un proceso es, pues, una concatenación de acontecimientos y por lo tanto un acontecimiento. Un *proceso* se puede representar por una gráfica en el espacio de acontecimientos del sistema.

El conjunto de los *acontecimientos regulares* en el sistema S es un conjunto de pares ordenados de estados de S en función del tiempo. Una clase de equivalencia

¹ Si $e = e'$, diremos que se trata de un acontecimiento neutro. Véase Bunge (1977b). La noción intuitiva de acontecimiento como suceso singular o extraordinario no se corresponde con la que proponemos aquí, siguiendo a Bunge. De acuerdo con nuestra noción, cualquier segmento de la duración de un sistema constituye un acontecimiento. Más adelante proponemos una posible forma de caracterizar algunos acontecimientos singulares (catástrofes).

en ese conjunto constituye (la extensión de) una relación. En el lenguaje común y en el científico solemos utilizar predicados relacionales para designar esas clases de equivalencia de acontecimientos en un sistema. Por ejemplo, el predicado “cambiar de posición” designa el subconjunto de acontecimientos cuyo resultado es una variación de los valores de las variables de posición espacial de un sistema. El predicado “calentarse” designa la clase de acontecimientos que consisten en una variación positiva de la temperatura de un sistema.

Se pueden definir muy diferentes relaciones de equivalencia en el conjunto de los acontecimientos, atendiendo a propiedades de éstos. Distinguiremos, en primer lugar, propiedades y clases cualitativas de acontecimientos, y después otras propiedades cuantitativas.

Supongamos que la función de estado F tiene n funciones componentes (es decir, que el sistema S está caracterizado por n propiedades). Un cambio de estado consiste en la variación de uno o varios de los valores de las n funciones. Por consiguiente, es lógicamente posible definir 2^n clases de cambios de estado diferentes (el conjunto de las físicamente posibles será más restringido) según el subconjunto de las variables afectadas. El conjunto así formado constituye un álgebra de clases, cuyos constituyentes mínimos (o generadores del álgebra) son las n clases elementales de acontecimientos que consisten en variar el valor de una sola de las n variables F_1, \dots, F_n .

Así pues, una *clase elemental de acontecimientos* en S es una relación definida en el espacio de acontecimientos de S cuya extensión es el conjunto de pares de estados que difieren tan sólo en el valor de una de las variables F_1, \dots, F_n . Y en general una *clase cualitativa de acontecimientos* en un sistema está formada por el conjunto de acontecimientos que consisten en la variación del valor de un subconjunto del conjunto F_1, \dots, F_n de las variables que caracterizan al sistema.

Si representamos el conjunto de los acontecimientos como vectores en un espacio de acontecimientos de $n + 1$ dimensiones, la clase de los vectores que tienen la misma dirección (es decir, cuyas rectas soporte son paralelas) representa una clase cualitativa de acontecimientos. Sus proyecciones sobre el plano $F_i \times T$ representan una subclase de una clase elemental cualitativa de acontecimientos: la de los acontecimientos que afectan la variable F_i con una determinada importancia e intensidad. Veamos lo que esto quiere decir.

Un vector se caracteriza, además de por su dirección en el espacio, por su magnitud, es decir, por la distancia entre el origen y el punto terminal del vector. Podemos definir la magnitud de un acontecimiento por la distancia entre el esta-

do inicial y el final. La clase de los acontecimientos que no sólo tienen la misma dirección sino también la misma magnitud constituyen otra clase obvia de equivalencia de acontecimientos.

Por último, podemos definir la importancia y la intensidad de un acontecimiento relativo a una variable afectada por el acontecimiento y el tiempo. Consideremos la proyección del vector que representa a un acontecimiento sobre el plano $F_i \times T$. Sea a el acontecimiento de clase elemental así representado. Diremos que la importancia de a respecto a la variable F_i es una medida de la cantidad de cambio experimentado por F_i . La intensidad será entonces una medida de la importancia en relación con la duración, es decir, de la tasa de cambio por unidad de tiempo. En símbolos:

Designamos como $D(a)$ a la *duración* de a , como $IMP(a)$ a la *importancia* de a , $INT(a)$ a la *intensidad* de a , r_i al valor de F_i en el momento t_i inicial del acontecimiento a , y r'_i al valor de F_i en el instante terminal t' de a . Tendremos entonces las siguientes definiciones:

- i) $D(a) = t' - t$
- ii) $IMP(a) = r' - r$
- iii) $INT(a) = IMP(a)/D(a)$

Cada una de estas propiedades puede dar lugar a una clase cuantitativa de acontecimientos. Por ejemplo, desplazarse de lugar es una clase cualitativa de acontecimientos. Desplazarse 100 kilómetros es una clase cuantitativa formada por un conjunto de acontecimientos que tienen la misma importancia en la clase anterior. Desplazarse a una velocidad de 100 km por hora es una subclase formada por acontecimientos de la misma clase cualitativa que tienen la misma intensidad. Desplazarse 100 km en una hora es una subclase formada por acontecimientos que tienen la misma importancia y la misma intensidad, etcétera.

Estas medidas se pueden generalizar para cualquier clase no elemental de acontecimientos en el espacio de $n + 1$ dimensiones para caracterizar, por ejemplo, el cambio total que experimenta un sistema, etcétera.

A veces utilizamos nombres para clases de clases de acontecimientos, es decir, tipos de acontecimientos. Por ejemplo, una *catástrofe* es un cambio de gran magnitud e intensidad que afecta a la mayor parte de las variables que caracterizan a un sistema.

Un tipo especialmente relevante de acontecimientos es el de aquellos que consisten en la producción de un *cambio cualitativo* en el sistema.

Un *cambio cualitativo* supone la aparición de al menos una propiedad nueva en el sistema, por consiguiente constituye una modificación del sistema. La representación vectorial de los cambios cualitativos se puede hacer considerando el espacio de estados del sistema inicial como un subespacio del espacio de estados del sistema terminal (que tendrá al menos una nueva dimensión para representar una nueva cualidad).

5. EL CONCEPTO DE ACCIÓN

Consideremos primero la estructura de un acontecimiento complejo en un sistema complejo, formado por dos subsistemas $S = \langle S_1, S_2 \rangle$. Un acontecimiento en S es un par ordenado de estados que tendrá su consiguiente proyección en los subespacios de estados de S_1, S_2 . Suponiendo siempre que nos referimos a los espacios de estados legalmente posibles, tendremos un acontecimiento en el sistema $S_1: a_1 = \langle e_1, e'_1 \rangle$, otro en el sistema $S_2: a_2 = \langle e_2, e'_2 \rangle$, y podemos representar el acontecimiento complejo $A(S_1, S_2) = \langle (e_1, e_2), (e'_1, e'_2) \rangle$.

Pues bien, si hay una regularidad F en el sistema complejo tal que $F(e_1, e_2) = (e'_1, e''_2)$ y $e''_2 \neq e'_2$, entonces podemos decir que el acontecimiento $a_1 = \langle e_1, e'_1 \rangle$ es la *causa* del acontecimiento $a_2 = \langle e_2, e''_2 \rangle$ o también que en el intervalo de tiempo considerado el sistema S_1 ha *actuado* sobre el sistema S_2 haciendo que éste adopte un estado e''_2 (el resultado de la acción) distinto del estado e'_2 que hubiera adoptado si no se hubiera producido esa acción.

Así pues, una acción es un acontecimiento legal en un sistema complejo. Por analogía con el simbolismo usado para acontecimientos, utilizaremos la expresión $A(S_1, S_2)$ para designar una acción de S_1 sobre S_2 . Cuando sea conveniente introduciremos la mención del resultado R de la acción.

6. ACCIÓN ELEMENTAL

Dado un sistema complejo $S = \langle S_1, S_2 \rangle$ decimos que S_1 actúa elementalmente sobre S_2 con resultado R , en símbolos $A(S_1, S_2, R)$ sii:

- i) $A(S_1, S_2) = \langle (e_1, e_2), (e''_1, e''_2) \rangle$, es un acontecimiento regular en el sistema complejo S .
- ii) Existen los acontecimientos regulares $a_1 = \langle e_1, e'_1 \rangle$ y $a_2 = \langle e_2, e'_2 \rangle$ en S_1 y S_2 respectivamente.

iii) $R = e''_2 \neq e'_2$

iv) Si además se cumple $e''_1 \neq e'_1$, entonces decimos que hay una reacción de S_2 sobre S_1 .

A cada componente de la definición le daremos el siguiente significado:

- S_1 es el *agente* de la acción,
- S_2 es el *objeto* (paciente) de la acción,
- (e_1, e_2) es la *condición inicial* de la acción,
- (e''_1, e''_2) es el *estado final* de la acción,
- $a_1 = \langle e_1, e''_1 \rangle$ es la *causa* de la acción,
- $a_2 = \langle e_2, e''_2 \rangle$ es el *efecto* de la acción,
- $R = e''_2$ es el *resultado* de la acción.²

Si consideramos el conjunto de las acciones posibles entre un conjunto de n sistemas, podemos definir las siguientes operaciones de composición de acciones, donde la expresión $f(R, R')$ designa una función de los resultados R, R' que dependerá en cada caso del tipo de acciones.

7. SUMA DE ACCIONES DE S

Si $A(S, X, R)$ es una acción de S sobre X con resultado R y $A'(S, Y, R')$ es una acción de S sobre Y , con resultado R' , entonces la acción $A + A'(S, \langle X, Y \rangle, f(R, R'))$ es una acción compuesta de S sobre X y Y a la que llamamos suma de las acciones A, A' .

8. PRODUCTO DE ACCIONES SOBRE S

Si $A(X, S, R)$ es una acción de X sobre S con resultado R y $A'(Y, S, R')$ es una acción de Y sobre S con resultado R' , entonces la acción $A * A'(\langle X, Y \rangle, S, f(R, R'))$ es una acción compuesta sobre S a la que llamamos producto de las acciones A, A' .

² O resultado "neto". Como resultado total podemos considerar también al estado final, es decir, al estado en que se encuentran al final de la acción tanto el agente como el paciente. De hecho ésta es la noción que utilizaremos más adelante al hablar de los resultados R de una acción intencional [MAQ: 2005].

9. PRODUCTO RELATIVO DE ACCIONES

Dadas las acciones $A(S_1, X, R)$ y $A'(X, S_2, R')$ diremos que su producto relativo es la acción $A/A'(S_1, S_2, R')$, en la que el estado de X en la condición inicial de A' es el resultado de A .

Una forma adecuada de describir el producto relativo de dos acciones es como una acción indirecta de S_1 sobre S_2 a través de X , o por mediación de X , o mejor aún, la acción instrumental de S_1 sobre S_2 con el instrumento X .

Podemos representar estas operaciones de composición de acciones en los siguientes términos: el conjunto de todas las acciones entre los componentes del sistema complejo S es una red cuyos trazos son acciones entre subsistemas de S y cuyos nudos representan el estado de un sistema que constituye el resultado de una acción y la condición inicial de la siguiente. Un itinerario en la red (una secuencia de trazos) es una concatenación de acciones, una bifurcación es una suma de acciones y una coincidencia o convergencia de dos acciones es un producto de acciones.

Podemos, pues, utilizar la teoría de grafos para analizar la estructura de tales redes de acciones y la noción de grafo conexo para definir la de sistema de acciones. Dos nudos de un grafo están conectados si entre ellos existe una cadena de trazos, independientemente de la orientación de los trazos que compongan la cadena. Un grafo es conexo si, dados dos nudos cualesquiera del grafo, éstos están conectados (será fuertemente conexo si se exige además que los trazos que los conectan tengan todos la misma orientación). Podemos ahora definir un sistema de acciones.

10. SISTEMA DE ACCIONES

Dado un conjunto de sistemas concretos S y un conjunto de acciones A entre miembros de S , decimos que el sistema $A = \langle S, A \rangle$ es un sistema de acciones en el conjunto S si A constituye un grafo conexo.

SEGUNDA PARTE

OTROS ENSAYOS DE FILOSOFÍA
DE LA TECNOLOGÍA

VII. VEINTE AÑOS DESPUÉS

EN 1979, TRAS una estancia en la Unidad de Filosofía de la Ciencia de la Universidad McGill, invitado por Mario Bunge, redacté un breve ensayo sobre “El problema de la racionalidad tecnológica”, que fue publicado en 1980 en la revista *Estudios Filosóficos* y se incorporó después a mi libro *A favor de la razón* (1981). Visto en perspectiva, considero aquel trabajo como el primer esbozo de una filosofía de la tecnología a la que desde entonces he dedicado buena parte de mi producción filosófica. En estas páginas me propongo ofrecer una síntesis de los resultados obtenidos en el desarrollo de aquel programa de trabajo esbozado hace 20 años.

Las técnicas productivas constituyen una parte peculiar e importante de todas las culturas humanas y, en esa medida, cabría esperar que hubieran sido un objeto importante de reflexión filosófica. Sin embargo, no parece haber sucedido así. Aunque existen referencias a la técnica desde la filosofía antigua, la filosofía de la técnica o de la tecnología como disciplina especializada es bastante reciente. De hecho, a partir del siglo XIX es cuando la tecnología moderna adquiere verdadera importancia en la producción de bienes materiales y en el desarrollo del capitalismo, y es entonces cuando surgen las primeras teorizaciones sistemáticas sobre la significación social, económica o antropológica de la tecnología.¹ Sin embargo, es en la primera mitad del siglo XX cuando se producen las aportaciones que hoy podemos considerar clásicas, por parte de autores como Dessauer, Ortega y Gasset, Ellul, Mumford y Heidegger. A partir de entonces este campo de reflexión y estudio no ha hecho sino crecer y madurar.

En la actualidad la filosofía de la tecnología es una disciplina en plena consolidación, como campo de investigación y de enseñanza universitaria. En ella confluyen al menos tres tradiciones académicas diferentes que, a efecto de simplificar

¹ Mitcham (1989 y 1994) presenta un panorama muy completo de la evolución histórica de la filosofía de la tecnología. Medina (1995) interpreta el tardío desarrollo de la filosofía de la tecnología como una consecuencia del sesgo predominantemente teorístico y platónico de la filosofía occidental. Fernando Broncano, en su introducción a Broncano (comp.) (1995) da la vuelta a este argumento: el problema no está en que los filósofos no se hayan ocupado de la técnica —que sí lo han hecho—, el problema es que realmente la técnica era filosóficamente muy poco interesante mientras no apareció la tecnología científica e industrial. Un argumento parecido se encuentra en Bunge (1985b), cuando defiende el interés filosófico de la tecnología científica frente a la técnica tradicional.

la exposición, denominaremos la tradición de la filosofía analítica, la de la filosofía continental y la de los estudios sociales de la ciencia y la tecnología. En la filosofía analítica incluimos las aportaciones de autores que, generalmente dedicados a la filosofía de la ciencia, empezaron en los años sesenta a interesarse por los problemas filosóficos de la tecnología.² Bajo el amplio rótulo de filosofía continental incluyo todas las aportaciones a la filosofía de la tecnología de inspiración existencial, antropológica y fenomenológica, generalmente muy influidas por el pensamiento de Heidegger, el marxismo o la escuela de Fráncfort.³ Por último, los estudios sociales de la ciencia y la tecnología constituyen un potente movimiento académico e intelectual, que experimentó un fuerte desarrollo en los años ochenta, y que abarca múltiples intereses disciplinarios, desde la historia y la sociología de la ciencia hasta la economía industrial, la política de la ciencia y la tecnología, la ética de la ciencia, etcétera.⁴

Existen varias propuestas para ordenar el conjunto de enfoques y aportaciones a la filosofía de la tecnología. Una de ellas, bien conocida, es la de Carl Mitcham (1989), que distingue dos tipos de filosofía de la tecnología: la “de los ingenieros” y la “de los humanistas”. La diferencia fundamental es que en el enfoque de los ingenieros predominan los problemas que podríamos llamar internos, que se refieren al conocimiento tecnológico, el diseño de artefactos, los métodos de control de las realizaciones técnicas, etc. En cambio, en el enfoque de los humanistas la atención se centra en el significado antropológico o metafísico de la técnica.

Personalmente opino que es más ilustrativo clasificar los diferentes enfoques en la filosofía de la técnica y de la tecnología actual no en función de las tradiciones filosóficas predominantes en cada uno de ellos, sino en función de la articulación del propio campo de estudio.

1. TRES ENFOQUES EN EL ESTUDIO DE LA TÉCNICA

Tal como se usa en el lenguaje común, la noción de técnica se refiere principalmente a las habilidades o conocimientos prácticos especializados que tienen

² La referencia obligada para este grupo es la obra de Rapp (1974).

³ Ihde (1979) es un referente significativo de orientación fenomenológico-existencial. En Mitcham (1994) puede encontrarse amplia información complementaria.

⁴ Entre los filósofos, Paul Durbin, que se inserta en la tradición del pragmatismo estadounidense (Durbin, 1995), además de ser uno de los más activos impulsores de la institucionalización de la filosofía de la tecnología, es también uno de los que más interés muestran por conectar la reflexión filosófica con los estudios sociales.

algunas personas y que les permiten realizar algunas tareas y resolver determinados problemas prácticos en forma especialmente eficiente. Por extensión, se usa también la misma palabra para referirse no sólo al conocimiento y a las habilidades, sino a las propias actividades prácticas que tales habilidades permiten realizar, e incluso a los artefactos técnicos, herramientas, materiales o instrumentos que las hacen posibles. La misma ambigüedad se presenta en el uso común de la noción de tecnología. En principio se entiende por tecnología el conjunto de conocimientos prácticos y sistemáticos, basados en la ciencia y referidos a la resolución de determinado tipo de problemas prácticos, generalmente relacionados con la producción industrial de bienes y servicios; pero también se usa el mismo término para referirse al conjunto de técnicas creadas a partir de esos conocimientos tecnológicos o al conjunto de artefactos e instrumentos que aparecen en ellas. Los estudios de la técnica y la tecnología se pueden clasificar en tres enfoques según la importancia relativa que en cada caso se da a los diferentes aspectos presentes en el uso común de estas nociones.

En el enfoque que llamamos *cognitivo* predomina la consideración de la técnica como conocimiento operacional o práctico y de la tecnología como conocimiento científico aplicado. La filosofía de la técnica es una parte de la filosofía del conocimiento y la filosofía de la tecnología se entiende como una extensión de la filosofía de la ciencia. Esta perspectiva es la que predomina en los enfoques analíticos de la filosofía de la tecnología, pero también en algunos de los estudios culturales sobre la tecnología, en la historia de las ciencias aplicadas, en los estudios sobre la invención tecnológica como proceso intelectual, etcétera.

En el enfoque que llamamos *instrumental* predomina la consideración de la técnica como un conjunto de prácticas vinculadas a herramientas y objetos artificiales que son el resultado (los productos) o el instrumento de esas prácticas. Las tecnologías, por su parte, se identifican con los artefactos que son productos o instrumentos de actividades tecnológicas, basadas en el conocimiento científico aplicado a la producción industrial. En este enfoque adquieren mayor relevancia filosófica las cuestiones relativas a aspectos ontológicos y antropológicos de la tecnología: qué es la técnica, qué significado tiene la técnica para el hombre, etc. Pero también es el enfoque predominante en algunos estudios sociales de la tecnología, interesados en fenómenos de relevancia económica y social, como la difusión de las innovaciones tecnológicas.

El enfoque *sistémico* se caracteriza por tomar como unidad de análisis lo que podemos llamar los sistemas técnicos o tecnológicos. La noción de sistema tecnológico la usa Hughes (1987) para referirse a complejos entramados sociotécnicos,

como una red de transportes, o de producción y distribución de energía eléctrica. Lo específico de los sistemas tecnológicos es que constituyen conglomerados de artefactos, prácticas, conocimientos, agentes humanos, organizaciones sociales, procesos económicos, etc., que forman una unidad sistémica cuyo comportamiento hay que analizar en su conjunto si queremos comprender realmente su dinámica interna. Pero en realidad las nociones básicas aquí involucradas se pueden generalizar a cualquier sistema técnico, tanto si es de carácter artesanal como si es propiamente tecnológico. En este enfoque, además de las cuestiones filosóficas tomadas en cuenta en los enfoques anteriores, adquieren importancia otras más próximas a la filosofía práctica, relativas a la evaluación de alternativas tecnológicas, a la naturaleza social de los sistemas técnicos, a la justificación del desarrollo tecnológico, etcétera.

En mi opinión, el enfoque sistémico es el más completo y el más prometedor en filosofía de la técnica. La tecnología actual no sólo es hija de la ciencia o constituyente esencial de la más profunda dimensión de la realidad humana; también es un componente ineludible de la cultura industrial y urbana actual, un factor decisivo en la competitividad económica, una fuente continua de creatividad e innovación social, un ámbito decisivo de debate político y el origen de nuevos retos morales, educativos y culturales. Y todas estas dimensiones de la tecnología son filosóficamente relevantes.

2. TRES PARTES DE LA FILOSOFÍA DE LA TÉCNICA

Entiendo que la filosofía de la técnica,⁵ como disciplina académica, debe articularse en torno a tres tipos de cuestiones: ontológicas, epistemológicas y axiológicas.

Entre las *cuestiones ontológicas* la más importante es la delimitación del concepto mismo de sistema técnico y otros relacionados, entre ellos los siguientes: objeto técnico o artefacto, realización técnica, modificación, ampliación de una técnica, instrumento, herramienta, máquina, etc. Nociones básicas para la ontología de la técnica son las de agente, acción, acción intencional, plan de acción, sistema, acontecimiento, causa, efecto, resultado, producto, proceso, consecuencia de una acción, objetivo de una acción.

⁵ En lo que sigue utilizaré los términos “técnica” y “tecnología” siguiendo la convención que utilizo en mi *Tecnología: un enfoque filosófico*: “técnica” es un término genérico que incluye como una de sus especies la “tecnología” (técnica de uso industrial y base científica). Otra especie de técnica es la artesanal.

Entre las *cuestiones epistemológicas* las más importantes son las relativas al análisis del conocimiento técnico y de los procesos de invención tecnológica. Temas de interés en este campo son, entre otros, los siguientes: teoría del conocimiento técnico, el concepto de habilidad y *know how*, los conceptos de invención, innovación, modelo, prueba, diseño, desarrollo tecnológico, teoría tecnológica. Nociones básicas para la epistemología de la técnica son la mayoría de las nociones de la filosofía de la ciencia como ciencia básica, ciencia aplicada, investigación y desarrollo, además de otras relacionadas, como la de conocimiento operacional o práctico y conocimiento aplicado.

Entre las *cuestiones axiológicas* están todas las relacionadas con la evaluación y el control de las tecnologías, en especial las cuestiones relativas a la valoración de las opciones tecnológicas y de las consecuencias del desarrollo tecnológico. Cuestiones fundamentales que se deben analizar en este campo son las relativas a los valores tecnológicos de factibilidad, eficacia, eficiencia y fiabilidad, así como los criterios y técnicas de evaluación de idoneidad y de consecuencias de las tecnologías, como las nociones de riesgo, seguridad, impacto ambiental, impacto social de las tecnologías, etc. Nociones básicas para la axiología de la tecnología son las de regla técnica, valor, control, criterio de valoración, valor económico y valor tecnológico.

Independientemente de la tradición filosófica desde la que se afronten los problemas y del enfoque que se considere más importante en cada caso, considero que un programa de filosofía de la tecnología como una disciplina académica con entidad y consistencia propias debería abordar todos estos ámbitos de reflexión y teorización y, a partir de ellos, ofrecer un adecuado utillaje conceptual para dar respuesta a problemas fundamentales que plantea la tecnología a la sociedad actual. Esto es lo que me propuse desarrollar hace 20 años.

3. UN PROGRAMA PARA LA FILOSOFÍA DE LA TÉCNICA

Mi interés por la filosofía de la técnica surgió, en los años setenta, como una consecuencia de mi doble preocupación por la filosofía de la ciencia y por la filosofía moral y política. En aquella época no era infrecuente encontrar entre los jóvenes filósofos españoles una mezcla de intereses académicos que nos impulsaban a cultivar simultáneamente la filosofía analítica de la ciencia y la filosofía social, moral y política de inspiración marxista. Este doble interés estaba conectado ade-

más con una preocupación más profunda por los problemas de la racionalidad epistémica y la racionalidad práctica, de resonancias francfortianas. Tal era al menos mi caso. Un reflejo de esta situación se puede encontrar en una buena parte de los artículos que componen el *Diccionario de filosofía contemporánea* (Quintanilla [comp.], 1976) que yo dirigí. En el ensayo “El mito de la ciencia”, que formaba parte del diccionario, aludía a la ciencia y a la tecnología (en especial, a lo que los autores de inspiración marxista llamaban revolución científico-técnica: R. Richta, 1971) como unidad de análisis y de reflexión filosófica; comparaba la investigación científica con la aplicación tecnológica y la investigación industrial, y analizaba el complejo entramado social y económico que constituyen la ciencia y la tecnología, con referencias a la metodología popperiana de la ciencia, a la filosofía de Bunge y a las teorías sociológicas de Solla Price y Radovan Richta. En el mismo diccionario incluí un artículo dedicado a la voz “Tecnología”, en el que aludía a un ensayo de Carlos París (1973) y resaltaba las dimensiones políticas presentes en el desarrollo tecnológico.

En mi libro *A favor de la razón* (1981) se recogen varios ensayos de finales de los años setenta en los que se puede comprobar cómo se fueron conectando estas preocupaciones filosóficas hasta dar lugar a la primera versión de un programa sistemático de filosofía de la tecnología, que ha servido de base para mis trabajos posteriores. Este programa está esbozado en el texto titulado “El problema de la racionalidad tecnológica”, al que me he referido al principio de estas páginas. En el primer párrafo se resumen los objetivos de aquel ensayo, conectando claramente la resolución de algunos problemas básicos de la filosofía de la tecnología con el problema de fondo, más general, de la racionalidad práctica:

En este capítulo trato de analizar la estructura de los sistemas tecnológicos y de discutir algunos problemas relacionados con la naturaleza racional de la tecnología y la justificación de la acción tecnológica. Pero el lector puede leer también estas páginas, si así lo desea, como un intento de analizar la siguiente cuestión: suponiendo que adoptemos una actitud racionalista radical, ¿qué consecuencias se derivarían para la filosofía moral? (p. 111).

Posteriormente desarrollé estas ideas en un artículo publicado en la revista *Arbor*, en el que exponía las líneas generales de un programa sistemático de desarrollo de la filosofía de la tecnología: Quintanilla (1988). Este artículo se basa en el texto que presenté en el seminario de Filosofía de la Tecnología, que organicé, con la colaboración de Fernando Broncano, en Buitrago (Madrid) en

1987.⁶ Finalmente, en 1989 se publicó mi libro *Tecnología: un enfoque filosófico* (TEF, en adelante), que había recibido el premio Fundesco de ensayo de 1988 y constituye ahora la primera parte de la presente obra. En él se han expuesto de forma sistemática los elementos básicos (ontología, epistemología y axiología) de la filosofía de la tecnología esbozada unos años antes. En lo que sigue presentaré un resumen de algunas de las aportaciones más novedosas surgidas a partir del programa iniciado en 1979.

4. LA NOCIÓN DE SISTEMA TÉCNICO

Tanto en el enfoque sistémico como en el instrumental la técnica aparece primariamente como acción y secundariamente como conocimiento, mientras que en el enfoque cognitivo sucede lo contrario. Esta idea de la técnica como una forma de actuar, más que como una forma de conocer, está presente en el pionero ensayo de Ortega y Gasset (1939) y ha tenido una gran influencia en otras contribuciones a la filosofía de la tecnología hechas por filósofos españoles. Un caso notable es el ensayo de Carlos París, ya citado. En efecto, este autor definía la técnica como “un sistema de acciones mediante el cual el viviente animal actúa sobre el medio respondiendo a sus necesidades”. Lo que me llamó la atención de esta definición es la noción de “sistema de acciones” que me parecía central para comprender la tecnología, pero para la que no existía una definición precisa.

Mi aportación en este campo consistió en utilizar las categorías de acontecimiento, acción y sistema, de la ontología de Mario Bunge (1977b, 1979), para construir un concepto preciso de sistema intencional de acciones, a partir del cual pude definir otras nociones básicas de la ontología de la técnica. Después de algunas vacilaciones que se pueden rastrear en trabajos anteriores, en TEF opté

⁶ El seminario se pudo celebrar en el ambiente acogedor y estimulante del Centro de Seguimiento de Satélites de Telefónica en Buitrago (Madrid), gracias al apoyo de Fundesco y a las amables gestiones de quien entonces era su director, Ángel Luis Gonzalo. Allí estuvimos reunidos durante tres días un nutrido grupo de filósofos españoles y latinoamericanos que habíamos mantenido previamente algún tipo de contacto e interés compartido por la tecnología en un sentido amplio. A partir de allí surgió la idea de poner en marcha un programa de investigación sobre filosofía de la tecnología en el Instituto de Filosofía del CSIC, que coordinó Fernando Broncano, y en el que discutí la primera versión de mi libro *Tecnología: un enfoque filosófico*. Fruto de ese seminario fue, años después, el libro compilado por Broncano: *Nuevas meditaciones de la técnica* (1995), en el que se incluyen contribuciones de todos los que de una u otra forma participamos desde el principio en esta iniciativa de desarrollo de la filosofía de la tecnología vinculada a lo que podríamos llamar “el grupo de Salamanca”, por la universidad en la que trabajábamos tanto Fernando Broncano como yo, y en la que se habían formado otros miembros muy activos del grupo, en especial Jesús Ezquerro, Manuel Liz y Margarita Vázquez.

por asentar la ontología de la técnica sobre la noción de *realización técnica* (equivalente a la de sistema técnico concreto) y definí una realización técnica como un “sistema de acciones humanas intencionalmente orientado a la transformación de objetos concretos para conseguir de forma eficiente un resultado valioso” (p. 34). Los dos capítulos centrales del libro se dedican a desarrollar formalmente la definición de “sistema intencional de acciones” y otras derivadas de ésta. Desde entonces he mantenido esta definición, con algunas variantes secundarias,⁷ como uno de los fundamentos de mi ontología de la técnica.

Recientemente Javier Echeverría (1998, 2003) ha propuesto ampliar mi definición para incluir la referencia al medio en que se realizan las acciones técnicas y a la posibilidad de que el objetivo no sea sólo transformar objetos concretos sino también “relaciones”: “Las realizaciones técnicas no sólo transforman objetos, sino también relaciones y ámbitos de interrelación.” Echeverría hace estas propuestas para superar lo que él considera una limitación de mi definición de la técnica, y para poder incluir bajo su alcance las “teletecnologías”, es decir, las tecnologías de lo que él llama el “tercer entorno”, o entorno telemático, entre cuyas características principales él destaca que las acciones tecnológicas se pueden producir “a distancia”, de forma asíncrona y mediante actos “semióticos” (contrapuestos a los actos de manipulación física, característicos del primer y segundo entornos).

No es éste el lugar para comentar todas las propuestas de Echeverría, y menos aún para entrar a fondo en la rica problemática abierta por su caracterización del “tercer entorno” como el entorno propio de las tecnologías de la información y las comunicaciones. Él lleva razón al señalar que mi caracterización de los sistemas técnicos está pensada para dar cuenta de las tecnologías de la producción características del primer y segundo entornos, en las que los sistemas tecnológicos de acciones incluyen, como elemento central, las acciones de manipulación o transformación de objetos concretos. Sin embargo, no creo que, para dar cuenta de las tecnologías de la comunicación, sea necesario cambiar la ontología subyacente ni los rasgos básicos de mi definición.

Echeverría da mucha importancia a la introducción de las “relaciones y funciones” como entidades fundamentales de una ontología fregeana, que él considera esencial para interpretar la naturaleza del “tercer entorno”, y al mismo tiempo reivindica la naturaleza “distal”, “asíncrona” y “semiótica” de las transformaciones de “relaciones y ámbitos de relación” que se operan en las teletecnologías.

⁷ Véanse los comentarios en las notas 2 y 3 del cap. II de la presente edición.

En cuanto a la ontología, no comparto la idea de Echeverría según la cual las categorías de una ontología fregeana (objeto, relación, función) son irrenunciables. En mi opinión, una ontología de ese tipo incurre en dos errores básicos: mezcla entidades reales concretas (las cosas) con entidades conceptuales, como las funciones, que no existen en el mundo real, y además hipostasia propiedades de los objetos concretos (como las relaciones existentes entre ellos) considerándolas como entidades independientes. En la ontología de Bunge, que yo comparto, sólo existen realmente los “objetos concretos”, que se caracterizan por su composición, su estructura (los vínculos entre sus componentes) y su entorno (los otros objetos o sistemas concretos con los que interactúa). En esta ontología, “transformar un objeto concreto” puede significar varias cosas: cambiar sus componentes total o parcialmente, cambiar su estructura (las relaciones entre sus componentes) o cambiar las relaciones que el objeto mantiene con otros objetos de su entorno. Todas estas posibilidades están incluidas en mi definición de realización o sistema técnico, algunas de ellas están desarrolladas en el cap. III de *TEF* y otras en el *Treatise on Basic Philosophy* de Mario Bunge. Por lo tanto, “transformar relaciones” no es algo diferente de “transformar objetos” y no es preciso, por esta razón, modificar ni la ontología ni la definición de sistema técnico.

En cuanto a lo que podríamos llamar la naturaleza “inmaterial” de las “teletecnologías”, propias del “tercer entorno”, debo remitirme también a la propuesta que figura en *TEF*. Propuse allí una clasificación de las tecnologías en función de la naturaleza de los componentes de los sistemas tecnológicos, en tecnologías físicas, biológicas y sociales. Mi opinión sobre las tecnologías de la información queda reflejada en el siguiente párrafo:

Un caso especialmente relevante de *tecnologías mixtas* son las *tecnologías de la información*. En la clasificación que hemos hecho habría que incluirlas en las tecnologías sociales. Pero es razonable cualquier duda respecto de la consideración de tecnologías como la robótica, la inteligencia artificial, la ingeniería del conocimiento y de las telecomunicaciones como tecnologías similares a las de organización de sistemas humanos, dirección y control de instituciones y procesos sociales, etc. En realidad, las tecnologías de la información son tecnologías mixtas, de carácter físico (electrónica) y cultural (tratamiento de la información) (p. 80).

Por el momento no veo ninguna razón para cambiar esta forma de caracterizar las teletecnologías. Se trata, en primer lugar, de tecnologías físicas, tanto como la tecnología del alumbrado eléctrico, del transporte por carretera o de los moli-

nos de agua. Lo que se transmite a través de internet, de la red de satélites o de las líneas telefónicas convencionales son cargas electromagnéticas o radiación láser de la misma naturaleza que las que hacen funcionar mi lavavajillas o las que se usan para reproducir la música grabada en mi disco compacto. Se trata de tecnologías físicas que actúan “por contacto” y a través de la manipulación y modificación de objetos tan concretos como las aspas de un molino, aunque algo más complejos: los transistores de un circuito integrado, la superficie magnética del disco duro de un ordenador, o la superficie reflectante de un CD ROM. Pero naturalmente, no son sólo tecnologías físicas, además, son tecnologías sociales y específicamente culturales: las cargas electromagnéticas que manipulan y transmiten son *señales*, es decir, tienen un contenido semiótico, *transportan información*. Ahora bien, sin entrar en detalles sobre las complejidades semánticas y ontológicas que arrastra el concepto de información, basta comprobar que su presencia es universal en todas las técnicas (y no sólo en las tecnologías de la información) para comprender que no estamos en realidad ante un “tercer entorno” tecnológicamente irreducible. En mi opinión, las tecnologías de la información y las comunicaciones son tan materiales (del primer y segundo entornos) como cualquier otra. Lo que sí es cierto, sin embargo, es que gracias en parte a esas tecnologías se están operando grandes transformaciones sociales y culturales que nos permiten concebir muchos aspectos de la realidad *como si* se desarrollaran en un espacio nuevo, virtual, telemático, etc., que tan sugerentemente ha sabido describir Javier Echeverría (1994).

5. EL CONOCIMIENTO TÉCNICO

La epistemología de la técnica no ocupa un papel central en *TEF*, pero hay allí dos ideas que considero valiosas. La primera es la distinción entre las nociones “saber cómo se hace algo” y “saber hacer algo”, que generalmente se identifican, en la literatura tecnológica, designándolas con la misma expresión: *know how*. La distinción se basa en los trabajos de Piaget sobre *la prise de conscience*, y en la distinción entre conocimiento tácito y conocimiento explícito de Polanyi. De esta distinción deriva una aportación original contenida en la ponencia que presenté en el Congreso Nacional de Filosofía celebrado en Jalapa (México) en 1991, sobre “El conocimiento operacional y el progreso técnico”. En ella propuse distinguir dos tipos de conocimiento técnico: primario y secundario.⁸ El conocimiento téc-

⁸ El texto de aquella ponencia no se ha publicado; pero las ideas centrales sobre el conocimiento téc-

nico primario es el que deben tener los operadores de un sistema técnico para ser capaces de hacerlo funcionar correctamente. Contiene una buena cantidad de conocimientos operacionales tácitos (saber hacer), aunque también forman parte de él otros tipos de conocimientos explícitos, tanto operacionales como representacionales. Un ejemplo de conocimiento técnico primario es el “saber conducir” un automóvil. El conocimiento técnico secundario es el que tienen los ingenieros, diseñadores de sistemas técnicos o responsables de su control. En él abundan los conocimientos operacionales explícitos en forma de reglas tecnológicas, métodos de evaluación y control de operaciones, etc., pero lo más característico es que entre sus componentes figuran determinadas representaciones (de ahí su consideración como un conocimiento técnico secundario o de segundo orden) de conocimientos técnicos primarios. Por seguir con el ejemplo del automóvil, el ingeniero que diseña un prototipo de Fórmula Uno sabe qué conocimientos técnicos primarios (habilidades) debe tener el piloto que lo vaya a conducir, pero eso no implica que él mismo (el ingeniero) sea un buen piloto.

En relación con el conocimiento técnico, hay mucho trabajo que hacer. Es además un campo en el que seguramente se producirán avances importantes en los próximos años si los filósofos interesados empiezan a ocuparse explícitamente del conocimiento técnico, de su estructura, su metodología, su desarrollo, y no se limitan solamente a compararlo con el conocimiento científico. La tesis doctoral de Jesús Vega (1996), y los trabajos de Liz (1995) sobre la racionalidad y el conocimiento tecnológico y de Vázquez (1995) sobre modelos en tecnología, ambos recogidos en Broncano (comp.) (1995), son contribuciones interesantes para el desarrollo de una epistemología de la técnica en la dirección indicada.

6. VALORES TECNOLÓGICOS

La axiología de la técnica es un campo frecuentemente cultivado tanto por filósofos como por expertos en estudios sociales de la ciencia y la tecnología. Varios factores contribuyen a ello. Las grandes innovaciones que se producen en el campo de la biotecnología plantean interesantes problemas morales que han captado el interés de un amplio público. Por otra parte, la importancia creciente que tie-

nico están recogidas en el monográfico de la revista *Plural*, de la Universidad de Puerto Rico, vols. 11-12, correspondiente a los años 1993-1994, en el que se publican “Seis conferencias sobre filosofía de la tecnología” que dicté en aquella universidad en 1992. Véase también Quintanilla (1998) y el capítulo “Tipos de conocimiento tecnológico y gestión de la innovación”, más adelante.

nen las políticas de I+D en las agendas de los gobiernos y de las organizaciones internacionales ha puesto de relieve la necesidad de definir criterios para determinar prioridades en I+D y para evaluar sus resultados. Y por último, las múltiples iniciativas institucionales de evaluación social de las tecnologías, iniciadas a principios de los setenta por el Congreso de Estados Unidos, han contribuido a poner de relieve la importancia de los aspectos axiológicos en el desarrollo y el uso de las tecnologías.

En *TEF* hay varias ideas novedosas en relación con la axiología de la técnica. Una de ellas es la propuesta de distinguir tajantemente entre valores internos y externos. Por valor interno entiendo aquellos que se refieren a propiedades de un sistema técnico que dependen exclusivamente de su propia estructura, no de su uso o ubicación en un determinado contexto social. Ejemplo típico de valor intrínsecamente tecnológico es el valor de “factibilidad” de un proyecto o diseño. Ejemplo de valor externo es el del carácter socialmente idóneo (o “apropiado”) de determinadas tecnologías avanzadas para países en vías de desarrollo. Esta distinción es importante y puede tener efectos prácticos interesantes para el debate social en torno a la conveniencia o inconveniencia de desarrollar determinadas alternativas tecnológicas. En estos debates es frecuente mezclar los dos tipos de valores y criterios de valoración sin que los contendientes sean siempre conscientes de esa confusión. Las consecuencias pueden ser graves: pueden, por ejemplo, llevar a rechazar una alternativa tecnológica por considerarla socialmente inapropiada sin ponerse a pensar que puede haber pequeñas variantes o usos alternativos de esa misma tecnología que puedan hacerla socialmente provechosa.

Un caso paradigmático es el uso del concepto de eficiencia técnica y otros relacionados (eficacia, fiabilidad, etc.). En mi opinión, se trata de uno de los valores internos más característicos de los sistemas tecnológicos, pero es llamativa la escasa atención que los estudiosos de la tecnología conceden a esta propiedad de los sistemas técnicos, y la tendencia casi universal a identificar la eficiencia técnica con la eficiencia económica. En *TEF* se propone una definición de la eficiencia técnica como una medida del ajuste entre los objetivos y los resultados de un sistema técnico, que es completamente independiente de cualquier valor económico.⁹

Otro de los problemas que se plantean en la evaluación de tecnologías es el de establecer una línea nítida de separación entre los resultados de un sistema técnico y las consecuencias de la implantación de ese sistema en un contexto de-

⁹ Volvemos sobre el tema más adelante, en el capítulo x, “La racionalidad instrumental”.

terminado. Aunque parece una cuestión puramente académica, en realidad se trata de un asunto con enormes implicaciones prácticas. De acuerdo con los criterios propuestos en *TEF*, los resultados de un sistema técnico forman parte de su caracterización intrínseca y se toman en consideración en los juicios de evaluación de eficiencia técnica, etc. Para decirlo rápidamente: sobre los resultados que caracterizan el funcionamiento efectivo de un sistema técnico se pueden pedir responsabilidades al tecnólogo que lo diseñó o al ingeniero que lo construyó. En cambio, las consecuencias de la aplicación de un sistema técnico dependen del contexto en el que se use. En *TEF* propuse establecer un orden en las consecuencias de un sistema técnico en función del número de sistemas diferentes que tienen que intervenir para que aquéllas tengan lugar. Así, los resultados de un sistema técnico (que se producen sin que intervenga ningún otro sistema) se pueden identificar como consecuencias de orden cero; pero la mayoría de lo que consideramos “consecuencias de una tecnología” no son resultados directos de ella, sino del uso que de ella hacen unos u otros para fines propios, o de la interacción entre el sistema técnico y otros sistemas o acontecimientos, naturales o humanos. El doctor Frankenstein no creó un monstruo asesino, sino un ser fuerte, sensible e inteligente. Pero otras cadenas de acontecimientos (y de “comportamientos” de otros sistemas o agentes humanos), que se cruzaron con la actividad espontánea de ese nuevo ser creado artificialmente, produjeron las consecuencias que conocemos.

7. OTRAS APORTACIONES A LA FILOSOFÍA DE LA TECNOLOGÍA EN ESPAÑA

En el Congreso Mundial de Filosofía, celebrado en Boston en 1998, presidí una sesión temática dedicada a la filosofía de la tecnología. Se presentaron cuatro ponencias firmadas todas ellas por autores hispanos. Un miembro del público asistente me preguntó a qué se debía el interés por la filosofía de la tecnología en el mundo de habla hispana. Gonzalo Munévar, que era uno de los ponentes, dijo que seguramente se debía a la influencia de Ortega y Gasset. Yo añadí, casi en broma, que a lo mejor era una característica de los filósofos hispanos (ya desde Ortega) la tendencia a interesarnos más por lo que nos falta que por lo que tenemos en abundancia: por eso escribimos tanto sobre la libertad, la modernidad y la tecnología.

Lo cierto es que desde mediados de los ochenta han proliferado las contribuciones de autores españoles en el campo de la filosofía de la tecnología o de la

técnica, aunque no siempre está claro que haya habido una línea de continuidad desde Ortega hasta nosotros. De hecho, las contribuciones de Carlos París (1973) o Laín Entralgo (1985, 1986) apenas se citan (yo creo que injustamente) en las obras de autores más jóvenes.

En la actualidad, aparte del de Salamanca, hay varios grupos activos en España en este campo. Uno de los más visibles ha sido Invescit, que surgió en Valencia y Barcelona, en torno a José Sanmartín y a Manuel Medina, a mediados de los años ochenta, de forma casi simultánea pero independiente de las iniciativas que estábamos llevando a cabo en Salamanca. Este grupo desplegó una intensa actividad editorial e institucional, por medio de la editorial Anthropos, el instituto Invescit y posteriormente la Society for Philosophy of Technology, que presidió el propio Sanmartín. Las ideas básicas que inspiran a este grupo se pueden rastrear en las publicaciones iniciales de Medina (1985) y Sanmartín (1987). El trabajo de Aibar (1990) presenta los objetivos y los primeros resultados de esta línea de trabajo.

De la misma época es la obra de Félix Duque (1986), una original reflexión filosófica sobre el significado histórico y metafísico de la técnica en relación con la naturaleza y con el hombre.

Más recientemente ha iniciado su actividad otro grupo en Sevilla, en torno a R. Queraltó (1993), que ha empezado a editar la primera revista española especializada en el área de los estudios de ciencia, tecnología y sociedad y de filosofía de la tecnología.

El grupo inicial de Salamanca también ha evolucionado y ha dado lugar a diferentes líneas de trabajo. Por una parte, algunos miembros del grupo mantienen una clara orientación internalista, a veces ligada al interés por el cognitivismo y por problemas filosóficos más generales. Es el caso de Fernando Broncano, quien ha publicado recientemente (2001) un valioso y original ensayo de filosofía de la tecnología, así como el de Manuel Liz, de la Universidad de La Laguna, cuyo ensayo *Un metafísico en tecnolandia* (2002) está lleno de originales y profundas reflexiones, servidas en un lenguaje elegante, sazonado por una inteligente ironía. También Jesús Ezquerro (1995), de la Universidad del País Vasco, ha trabajado en esta línea, además de haber dirigido la tesis doctoral de Ana Cuevas (2000). Otros miembros del grupo inicial, como Alfonso Bravo (Universidad de Salamanca), se han especializado en estudios de política científica y economía del cambio técnico (Bravo, 1995), o en estudios sociales de la ciencia y la tecnología, como Bruno Maltrás, cuya tesis doctoral (Maltrás, 1996) es una decisiva contribución a la fundamentación de los estudios bibliométricos como instrumento para el análisis de la ciencia.

Personalmente he continuado desarrollando el programa inicial de filosofía de la tecnología y en los últimos años he prestado especial atención a la exploración de los múltiples ángulos, teóricos y prácticos, que presenta la cultura tecnológica de nuestro tiempo. Mis contribuciones al libro de Aibar y Quintanilla (2002) recogen algunos de los últimos resultados de esta línea de trabajo.

VIII. LA CONSTRUCCIÓN DEL FUTURO

En el mundo de los computadores y de los viajes espaciales resulta innecesario hacer hincapié en la importancia de la innovación tecnológica... Por mucho que lo deseemos no podemos eludir su impacto sobre nuestras vidas cotidianas, ni los dilemas morales, sociales y económicos que nos plantea. Podremos maldecirla o bendecirla, pero no podemos ignorarla.

C. FREEMAN (1974)

LAS PALABRAS con las que Freeman comienza su conocida obra sobre *La teoría económica de la innovación industrial* describen muy bien la idea fundamental que quisiera transmitir al lector en estas páginas. Durante cinco siglos los seres humanos hemos sido protagonistas de la aventura más interesante de toda nuestra historia: hemos creado el método científico y lo hemos aplicado con éxito al descubrimiento de los secretos más recónditos de la naturaleza, hemos inventado innumerables artefactos aprovechando nuestros conocimientos científicos y la acumulación de nuestra experiencia práctica, hemos utilizado estos conocimientos e inventos para modificar el mundo en que vivimos y nosotros mismos nos hemos transformado de manera insospechada. Pero sin duda estos cinco siglos no han sido sino el prelude de una aventura mucho más dilatada que vivirán nuestros descendientes. La fecha que conmemoramos¹ es un momento oportuno para repensar en el significado de todo lo que hemos hecho y para atisbar cómo puede ser la continuación de la aventura.

Hasta ahora (en realidad, hasta principios del siglo xx) el progreso en el conocimiento y en el dominio de la naturaleza ha sido, digamos así, natural o espontáneo. Las innovaciones técnicas se han incorporado a nuestra vida social y económica y como consecuencia se han producido cambios radicales en el mundo. Muchos de estos cambios los valoramos positivamente (el aumento de bienestar, los avances médicos, etc.). Otros los vemos como verdaderas catástrofes (la

¹ Este trabajo se redactó como capítulo final del catálogo del Pabellón de los Descubrimientos, de la Exposición Universal de Sevilla. Un incendio impidió que se abriera el pabellón y en consecuencia tampoco se publicó el catálogo previsto. La fecha de referencia es por lo tanto el año 1992.

capacidad destructiva del armamento, el deterioro del medio natural). En el pasado podía pensarse que los pros y los contras del desarrollo tecnológico terminarían arrojando a medio plazo un saldo positivo, sin más requisitos que dejar que las cosas sucedieran a su aire. Lo nuevo de la situación actual es que ahora sabemos que la continuación de la aventura humana depende en buena medida de nuestras propias decisiones. Pero no sólo ni fundamentalmente porque la tecnología nos ha proporcionado medios potentes para diseñar el mundo a nuestro antojo, sino sobre todo porque estamos implicados en los mecanismos que pueden paralizar, acelerar o cambiar de dirección el desarrollo futuro de la ciencia y la tecnología. Podemos decidir en qué emplearemos el poder tecnológico que hemos conseguido, pero sobre todo *tenemos que* decidir cuánto poder y qué tipo de poder queremos conseguir y cómo queremos que se emplee y se reparta. El desarrollo tecnológico ha dejado de ser un regalo de los dioses y se ha convertido en un asunto de nuestras preocupaciones cotidianas. Prometeo se sienta ahora en los consejos de administración de las empresas, en las oficinas de gestión de los laboratorios y las universidades, en los parlamentos que deciden cuánto dinero se va a invertir en investigación y desarrollo o en las asociaciones de fabricantes de bienes de equipo y de consumidores y usuarios de servicios públicos que presionan para imponer especificaciones técnicas, normas de compatibilidad y exigencias de calidad para los nuevos productos. Si hasta ahora nos hemos limitado a descubrir los secretos del mundo y a inventar artefactos que han ido transformando lo que nos rodea, ahora debemos enfrentarnos a la responsabilidad de diseñar el mundo que queremos construir.

A primera vista, no es fácil percibir la novedad de la situación. A lo sumo podemos aceptar la evidencia de que ya no nos podemos desentender de la técnica; pero para limitarnos de inmediato a maldecirla o bendecirla, según el humor de cada cual, sin aceptar que merezca la pena dedicar algún esfuerzo a comprenderla. Se trata sin embargo de una actitud irresponsable. Gracias a los científicos sociales hoy disponemos de muchos conocimientos y métodos de análisis que nos pueden ayudar a comprender el significado y las implicaciones sociales y económicas del desarrollo científico y técnico y a tomar decisiones con más conocimiento de causa y mayor racionalidad.

En este capítulo pasaremos revista a algunos de los problemas más relevantes que nos plantean la ciencia y la tecnología y a los utillajes conceptuales que podemos utilizar para afrontarlos y darles una respuesta.

I. LA COMPLEJIDAD DEL SISTEMA CONFORMADO POR LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA Y LA INDUSTRIA

A lo largo de los dos últimos siglos se puede observar un incremento continuo de las relaciones entre la investigación científica, la invención técnica y la producción industrial. De hecho, la Revolución Industrial que se inició en Inglaterra en los siglos XVIII y XIX no se puede entender si no se toman en consideración las repercusiones económicas de invenciones como la máquina de vapor, el ferrocarril, la energía eléctrica, los productos sintéticos, etc. Sin embargo, la mayoría de estas invenciones surgieron más de la experiencia práctica de los ingenieros que trabajaban en las fábricas o en los talleres mecánicos que de los laboratorios científicos. A partir del siglo XX, sin embargo, la distancia entre la investigación científica y el desarrollo tecnológico se acorta progresivamente, sobre todo en el campo de las aplicaciones industriales de la química, en la tecnología eléctrica y electrónica y en la tecnología aeroespacial. Después de la segunda Guerra Mundial, tras la experiencia acumulada en proyectos científicos de interés militar, como el desarrollo de la bomba atómica en los Estados Unidos, del radar en el Reino Unido y de las V2 en Alemania, se impuso una nueva forma de organizar la investigación científica movilizand o ingentes recursos humanos, financieros y materiales, para conseguir objetivos técnicos definidos de antemano. Desde entonces esta forma de organizar la investigación, como una actividad planificada y orientada a la obtención de nuevos productos y procesos, se ha generalizado. La proeza de los laboratorios Bell, que culminó con el descubrimiento del transistor, es un ejemplo de la nueva ubicación de la ciencia y la tecnología en el sistema industrial. En la actualidad, la mayor parte de la investigación científica y técnica de los países más avanzados se realiza en laboratorios industriales o vinculados de alguna forma a la industria.

Una de las consecuencias de la incorporación de la ciencia al sistema industrial es que los límites entre ciencia básica, ciencia aplicada y desarrollo tecnológico resultan cada vez más difusos. Una buena parte de la investigación básica se promueve en áreas en las que se espera que puedan surgir resultados científicos más interesantes con vistas a posibles aplicaciones industriales. Además, muchos de los nuevos problemas que se plantean los científicos que hacen investigación básica surgen de la necesidad de dar respuesta a problemas técnicos e industriales. Por último, los más importantes proyectos de investigación fundamental (en física de altas energías, astrofísica, microbiología, etc.) exigen innovaciones técnicas

instrumentales y trabajos de ingeniería civil que hacen de ellos auténticos proyectos industriales (por ejemplo, la construcción de un sincrotrón).

Otra consecuencia de la nueva situación es que la investigación científica y técnica ha pasado a ser un valor estratégico para la sociedad de nuestro tiempo, no sólo desde el punto de vista de la política de defensa, sino desde el punto de vista más amplio de las políticas de desarrollo económico y social. Ningún gobierno puede ya eximirse de la toma de decisiones en este campo. La competitividad de la economía de un país depende de su capacidad para introducir o asimilar innovaciones tecnológicas y ésta depende en buena medida del potencial científico de que disponga. En consecuencia, se ha generado toda una nueva esfera de actuación política (la política científica y tecnológica) por parte de los estados nacionales, que progresivamente se ha extendido a las administraciones regionales e incluso locales, por una parte, y a las organizaciones internacionales, por otra.

De hecho, existe una alta correlación entre nivel de desarrollo económico y nivel de gasto en actividades de investigación por parte de los países; aquellos más avanzados son también, en general, los que más recursos humanos y materiales dedican a la investigación y en los ejemplos de países más atrasados que han logrado dar el salto hacia la industrialización avanzada (primero Japón, luego Corea, Taiwán y Singapur), las políticas de investigación y desarrollo han desempeñado un papel esencial.

La importancia económica y social de la investigación ha alterado también la organización del trabajo científico en instituciones tradicionales, como las universidades. Por una parte, éstas han dejado de ser el lugar donde se ejecuta la mayor parte de la investigación científica; por otra parte, se han abierto a las demandas económicas y sociales y han incrementado su colaboración con laboratorios industriales o gubernamentales. Por último, incluso la investigación básica de carácter más académico se orienta cada vez más a los objetivos prioritarios establecidos por los gobiernos en función de su valor estratégico para el desarrollo económico.

Todos estos cambios en la naturaleza y la función social de la ciencia obligan a un replanteamiento en profundidad de los esquemas conceptuales que utilizamos para entender el cambio científico y técnico.

2. MODELOS DE DESARROLLO CIENTÍFICO Y TÉCNICO

Hasta fechas recientes, el desarrollo de la ciencia y la tecnología era considerado simplemente como un fenómeno intelectual. Los historiadores de las ideas han escrito hermosos ensayos explicándonos cómo surgieron los conceptos fundamentales de la ciencia moderna. Por otra parte, los filósofos de la ciencia se han esforzado en analizar la lógica interna de las teorías y los métodos científicos para ayudarnos a comprender su significado y su valor. En ambos casos se utiliza un enfoque que podemos llamar *internalista*: los descubrimientos científicos son ante todo acontecimientos intelectuales, cuyo valor y significado se pueden apreciar sin referencias a otros acontecimientos o factores externos, como las condiciones sociales en que se producen o las repercusiones económicas que tienen. Las invenciones técnicas se entienden ante todo como el resultado de aplicar los conocimientos disponibles a la resolución de problemas prácticos. Unos inventos suceden a otros al mismo ritmo que se suceden los descubrimientos científicos. A veces aparecen grandes inventos que revolucionan el panorama técnico de una época (la máquina de vapor, la electricidad, el transistor), de forma parecida a como surgen las grandes teorías científicas (la mecánica clásica, la teoría del electromagnetismo, la mecánica cuántica).

Existen, sin embargo, también otros enfoques, que llamaremos *externalistas*, y que se caracterizan por intentar entender el desarrollo científico y técnico en función de factores sociales y económicos. Bernal fue pionero en este tipo de estudios, que pronto dieron lugar a dos nuevas especialidades académicas: la sociología de la ciencia (y de la técnica) y la economía del cambio técnico.

En principio, se puede pensar que los enfoques internalistas y externalistas del cambio científico y técnico pueden ser complementarios y no tienen por qué entrar en conflicto. La sociología de la ciencia se puede limitar de hecho a analizar la reglas de comportamiento que rigen las relaciones sociales en las comunidades científicas. En función de ellas podemos explicarnos fenómenos interesantes, como la frecuencia de los descubrimientos múltiples, o la importancia de la objetividad entendida como valor que debe ser respetado por todos los miembros de la comunidad científica. Estas explicaciones pueden ser compatibles con los principios metodológicos que guían la apreciación internalista del desarrollo científico. Sólo cuando aparecen anomalías en la historia de la ciencia (por ejemplo, los fraudes científicos, el redescubrimiento de leyes o teorías que habían sido olvidados por los científicos, etc.) puede el sociólogo ayudarnos a encontrar

explicaciones para ellas. Lo mismo cabe decir del enfoque económico del cambio científico y técnico: para los economistas neoclásicos el cambio técnico es la causa principal del aumento de la productividad, pero ello se traduce en simples cambios de la función de producción (en las diferentes combinaciones de los factores capital y trabajo que intervienen en la producción de bienes y servicios y en la obtención del beneficio). El contenido de las innovaciones técnicas y de las ideas científicas en que se basan, el valor cognoscitivo de éstas, los factores que explican su aparición y su desarrollo, son asuntos ajenos a la economía en cuanto tal.

Sin embargo, esta división del trabajo entre enfoques internalistas y externalistas no se puede mantener por más tiempo. La obra de Thomas Kuhn, *La estructura de las revoluciones científicas* (1962), ha tenido consecuencias decisivas. Kuhn propuso allí el concepto de paradigma como nueva unidad de análisis para comprender el desarrollo de la ciencia. Un paradigma es una entidad híbrida, que incluye teorías científicas, reglas metodológicas, tradiciones académicas, pautas de comportamiento social de los científicos, etc. La mayor parte de la ciencia se explica en términos de lo que Kuhn llama la ciencia normal: los científicos de una época, en determinada especialidad, trabajan la mayor parte del tiempo resolviendo rompecabezas, tratando de encajar los hechos que descubren en el marco del paradigma que todos ellos comparten. Pero a veces ocurre que en determinado campo científico se acumulan las anomalías y en algún momento surge alguien que propone ideas radicalmente nuevas; se inicia así un periodo de revolución en la ciencia que puede dar lugar a la instauración de un nuevo paradigma. Por lo general, el nuevo paradigma permite resolver las viejas anomalías y encajar una buena parte de los conocimientos heredados del paradigma anterior, aunque siempre queden cabos sueltos. El paso de un paradigma a otro no es un simple avance lineal del conocimiento racional, se parece más a un fenómeno sociológico de cambio de moda: de pronto los científicos empiezan a trabajar en el nuevo paradigma, se olvidan de los problemas anteriores y se inicia un nuevo periodo de ciencia normal.

Las ideas de Kuhn han dado impulso a lo que podríamos llamar una *sociología radical* de la ciencia. Un claro ejemplo es el “programa fuerte” de sociología de la ciencia del grupo de Edimburgo, capitaneado por Barry Barnes y David Bloor. Este último define muy bien el alcance del nuevo enfoque sociológico: la nueva sociología trata por igual al error y a la verdad científica y no sólo se propone encontrar las causas que pueden explicar los errores y desviaciones de la ciencia, sino también explicar en términos sociológicos el hecho de que los científicos acepten como verdadera una nueva teoría. La ciencia es ante todo una

actividad social, el error y la verdad dependen de procesos sociales; un nuevo descubrimiento científico no es valioso porque sea verdadero, sino porque es aceptado como tal por los científicos.

Este enfoque sociológico y relativista se ha aplicado también a la historia de la técnica. Desde una perspectiva internalista se puede estudiar el desarrollo de la técnica como el simple resultado de la aplicación de criterios de eficiencia a la resolución de problemas prácticos a partir del conocimiento disponible. Es cierto que los factores sociales y económicos pueden influir en la definición de los problemas que hay que resolver, pero a partir de ahí la invención procede de acuerdo con una lógica interna en la que los criterios de factibilidad, eficiencia y fiabilidad desempeñan un papel semejante al que los criterios de verdad, capacidad explicativa y predictiva desempeñan en el método científico. Sin embargo, los sociólogos radicales de la técnica han puesto de manifiesto que las cosas no son tan sencillas: el esquema lineal (definición de necesidades, aplicación del conocimiento disponible, diseño de nuevos artefactos técnicos) no es realista. Los factores sociales y económicos (la moda, la rentabilidad) no sólo influyen en la definición de los objetivos de una técnica, sino también en la valoración de las invenciones y en la orientación del proceso que lleva a una invención: la técnica se configura socialmente. La evolución del diseño de las bicicletas (Bijker *et al.* [comps.], 1987) proporciona un buen ejemplo: factores sociales como la moda y el uso de la bicicleta como objeto de diversión por parte de las mujeres tuvieron más influencia en la consolidación del modelo clásico de bicicleta (altura, separación de las ruedas, uso de cámaras de aire y de transmisión por cadena, etc.) que las simples consideraciones de ingeniería relacionadas con la eficiencia.

Los economistas también han variado radicalmente su enfoque del desarrollo tecnológico. La idea fundamental es que la innovación técnica es en sí misma una actividad económica. Por una parte, las actividades de investigación y desarrollo de las propias empresas industriales se consideran como parte de su actividad productiva. Por otra parte, muchas innovaciones técnicas dependen de procesos de aprendizaje internos de la propia empresa o de las relaciones entre las empresas productoras y los clientes o usuarios. En consecuencia, para entender el desarrollo tecnológico no basta con suponer que las empresas se limitan a sacar provecho de los descubrimientos que se generan al margen de su propia actividad. Por el contrario, hay que analizar las estrategias empresariales en el ámbito de la investigación, ver cómo la propia gestión empresarial, por una parte, y las exigencias del mercado, por otra, condicionan o determinan las opciones científicas y técnicas.

3. PROBLEMAS E INQUIETUDES

Gracias a los estudios del cambio científico y técnico, hoy tenemos una visión mucho más completa de estos fenómenos que la que teníamos hace tan sólo unas décadas. En cambio, carecemos de una visión unitaria que nos permita entender en su totalidad la función social y el significado de la ciencia y la tecnología y en la que podamos apoyarnos para tomar decisiones. Esto explica algunas de las dudas y recelos que periódicamente se extienden en la cultura occidental a propósito de estos temas.

La mayoría de la gente considera inaccesible el mundo de la ciencia y de la tecnología; a pesar de que los gobiernos, y por lo tanto los ciudadanos con sus impuestos, dedican grandes recursos a la investigación, éstos suelen adoptar una actitud pasiva en temas de política científica. Periódicamente esta actitud puede convertirse en un rechazo frontal ante el desarrollo tecnológico, que se asocia con catástrofes ambientales (accidente de la central nuclear de Chernobyl), conflictos morales (aplicaciones de la biotecnología, aumento de las desigualdades entre países ricos y pobres) o con problemas jurídicos de gran significación política (protección de la intimidad frente al desarrollo de las bases de datos informáticas).

En las propias esferas de decisión política (gobiernos, organizaciones internacionales) se presentan problemas nuevos para los que no existen soluciones preparadas. Se discute, por ejemplo, cuál debe ser el papel de los gobiernos en las políticas de I+D, qué áreas de la investigación básica deben considerarse prioritarias para favorecer la competitividad de la economía, qué relación existe entre las políticas industriales, educativas, financieras, y su contribución a la promoción de la capacidad científica y tecnológica de un país, qué papel deben tener las organizaciones internacionales en la coordinación o dirección del cambio científico, etcétera.

Por último, existen problemas de carácter general que preocupan a los científicos, a los políticos, a los ciudadanos y a los especialistas en el estudio de la ciencia. Por ejemplo: ¿hasta qué punto la capacidad creativa e innovadora de la ciencia puede verse afectada por los métodos de gestión y planificación característicos de las actividades industriales? ¿Existe realmente capacidad de decisión para orientar el desarrollo científico-técnico en una dirección coherente con los intereses de la humanidad o, por el contrario, hay que resignarse a que la ciencia y la técnica se sometan a las leyes impuestas por la economía de mercado? ¿Es posible conseguir mayor igualdad en el nivel de desarrollo científico y técnico entre los

países, o la propia dinámica del desarrollo tecnológico e industrial impone una distribución desigual de estas capacidades?

No es fácil dar respuestas simples a todas estas preguntas. Pero tampoco es razonable adoptar una actitud derrotista y de resignación. Por el contrario, podemos utilizar los datos que nos proporcionan las ciencias sociales para entender mejor el fenómeno del cambio científico y técnico.

4. EL CRECIMIENTO CIENTÍFICO

Aunque la ciencia y la tecnología no son cosas que se puedan medir directamente, podemos estimar su crecimiento mediante indicadores indirectos. En los estudios de política científica se suelen considerar la ciencia y la tecnología como un sistema que se alimenta de recursos financieros (el dinero que se gasta en investigación) y humanos (las personas que trabajan en actividades de investigación y desarrollo) y produce nuevos conocimientos y nuevos inventos o aplicaciones técnicas. Para estudiar el crecimiento del sistema podemos utilizar indicadores económicos (porcentaje del producto interno bruto que se dedica a I+D, porcentaje de la población activa que trabaja en actividades científicas y técnicas, etc.) e indicadores de la producción científica y tecnológica (principalmente de artículos que se publican en revistas internacionales y de invenciones patentadas). Naturalmente, estos indicadores no nos permiten obtener una imagen exacta y completa del sistema, pero a pesar de sus limitaciones proporcionan información útil y relevante. Con base en ellos podemos hacernos una idea bastante precisa de los factores que influyen en el crecimiento de la ciencia y de la influencia de ésta en el conjunto de la sociedad.

El análisis cuantitativo de la producción científica permitió al historiador y sociólogo Dereck de Solla Price distinguir claramente dos tipos de ciencia que él llamó la “Pequeña Ciencia” y la “Gran Ciencia”. Price descubrió, en primer lugar, que utilizando indicadores como el número de artículos que se publican en revistas científicas o el número de científicos que existen en cada momento, se podía llegar a la conclusión de que, desde el siglo XVII, la ciencia ha crecido en forma exponencial (es decir, en forma semejante a como crece un capital invertido a interés compuesto), de manera que su tamaño se duplica aproximadamente cada 15 años. Puesto que el crecimiento exponencial no se puede mantener indefinidamente (terminaría habiendo más científicos que habitantes en el planeta), supuso que tendría que darse una inflexión en la curva de crecimiento que se trans-

formaría así en una curva sigmoidea o logística. Price planteó la hipótesis de que la inflexión de la curva logística empezó en torno a los decenios de 1940 o 1950, cuando tuvo lugar también el salto de la Pequeña Ciencia a la Gran Ciencia. A partir de este análisis Price llamaba la atención sobre los cambios drásticos que deberían operarse en la organización social de la ciencia para adaptarse a la nueva situación.

Muchas de las hipótesis de Price han sido discutidas por otros científicos sociales. Pero los métodos de análisis cuantitativo del crecimiento científico que él utilizó y el hincapié que hizo en la importancia de estos estudios para entender la dinámica del crecimiento científico son hoy universalmente aceptados. De los estudios cuantitativos del crecimiento científico podemos extraer dos consecuencias: 1) el cambio científico y técnico tiene un carácter acumulativo (su crecimiento en un momento dado depende de lo que haya crecido en el pasado); 2) pero no es autónomo, sino que depende de las condiciones sociales en que se produce (el crecimiento tiene límites demográficos, económicos y sociales, y su tasa disminuye en la medida en que se acerca a ese límite).

Algunas de las consecuencias políticas que se derivan de esto son evidentes. Por ejemplo, el porcentaje de recursos económicos que un país puede dedicar a I+D no es independiente de su potencial económico global medido en términos de su renta per cápita. Por otra parte, dado un determinado nivel de desarrollo científico, no es posible pasar a un estadio superior sin pasar por un penoso camino de acumulación de recursos económicos y humanos (*scientia non facit saltus*: a pesar de las apariencias, la ciencia no crece a saltos), y además cuando más ha avanzado la ciencia más esfuerzo cuesta seguir avanzando al mismo ritmo. En tercer lugar, puesto que los recursos son limitados, una sociedad debe decidir cuáles son sus prioridades para impulsar el desarrollo científico y técnico y no tiene más remedio que correr el riesgo de concentrar sus esfuerzos en aquellas áreas de la investigación y del desarrollo tecnológico que considere más esenciales.

Junto a estas características generales del crecimiento científico hay otras que afectan específicamente al desarrollo tecnológico.

5. PARADIGMAS TECNOECONÓMICOS

Los economistas del cambio técnico distinguen entre invención e innovación tecnológica. Una invención se convierte en una innovación en el momento en que se introduce en el circuito económico en la forma de un nuevo proceso o producto

que sale al mercado. En ese momento se inicia la difusión de esa innovación. Se han realizado estudios empíricos de la difusión de innovaciones tecnológicas y se puede decir que, en general, si tienen éxito responden también a la pauta de crecimiento logístico. Pero sobre todo, se han podido comprobar también otros muchos fenómenos interesantes.

En primer lugar, es imprescindible distinguir al menos dos tipos de innovaciones tecnológicas: radicales e incrementales. Cuando aparece y se difunde una innovación radical (por ejemplo, la máquina de vapor) inmediatamente da lugar a la acumulación de múltiples innovaciones incrementales (mejoras en la disposición de la caldera, separación del condensador del vapor, válvulas de regulación automática de la presión en función de la carga, etc.) que inciden fuertemente en el proceso de difusión de la tecnología.

Por otra parte, a lo largo de la historia de la tecnología aparecen a veces innovaciones radicales que inciden en el desarrollo de todo el sistema tecnológico e industrial. La propia máquina de vapor, la producción de energía eléctrica, la electrónica de semiconductores (transistor, circuitos integrados, procesadores) son ejemplos claros de innovaciones revolucionarias. Se trata de tecnologías “penetrantes” (en inglés *pervasive*), es decir, que tienen aplicaciones prácticamente universales y sirven para potenciar el desarrollo de casi cualquier otra tecnología industrial. Su aparición representa, en el campo de la tecnología, algo equivalente a lo que supone un cambio de paradigma en la historia de la ciencia. De ahí que se pueda hablar con propiedad de paradigmas tecnológicos.

Ahora bien, la aparición y difusión de un nuevo paradigma tecnológico conlleva cambios radicales en la actividad económica y en la vida social. Recuérdense, por ejemplo, las repercusiones que tuvo el ferrocarril para la vida cotidiana de las sociedades industrializadas en el siglo XIX, en los cambios sociales, culturales e institucionales que se están produciendo en nuestros días por la difusión de las tecnologías electrónicas, las telecomunicaciones, la informática, etc., o en los que sin duda se habrán de producir con la difusión de la biotecnología basada en la ingeniería genética.

Así como ocurre en el conocimiento científico, también la difusión de las innovaciones tecnológicas presenta una doble cara: por una parte, tiene un carácter acumulativo y en cierto modo determinista, dentro de un paradigma dado; pero, por otra parte, es extremadamente sensible a las condiciones sociales y económicas. Las posibilidades de difusión de una innovación dependen de su rentabilidad económica, y ésta puede verse afectada por factores institucionales y políticos: desde la regulación de los mercados financieros (que faciliten o dificulten la in-

versión extranjera, por ejemplo) hasta las políticas educativas (que facilitan o impiden una formación de la población laboral adecuada a los nuevos requerimientos técnicos) o institucionales (reglamentación del mercado laboral, creación de nuevas instituciones científicas, etcétera).

6. UN MODELO INTEGRADO DEL CAMBIO TECNOLÓGICO

A partir de todos estos datos se puede formular un modelo general del cambio científico y técnico que constituye, en cierto modo, una síntesis de las perspectivas internalistas y externalistas. En este modelo se consideran tres tipos de factores o procesos: intelectuales o culturales, económicos y sociales.

A) *Procesos de invención, investigación y desarrollo.* Están constituidos por actividades de carácter intelectual, que se realizan en laboratorios e institutos de investigación, universitarios, gubernamentales y empresariales, fundamentalmente. Una parte de los resultados de estas actividades se transforman en innovaciones tecnológicas.

B) *Procesos de difusión de las innovaciones.* Tienen un carácter económico y comercial. Dependen de la rentabilidad económica de las innovaciones; pero ésta se ve afectada no solamente por sus valores intrínsecos (eficiencia tecnológica), sino también por las condiciones generales del mercado relativas a la competitividad de las empresas, su capacidad de financiación, de comercialización, etcétera.

C) *Procesos de cambio social.* Consisten en las transformaciones que se operan en la sociedad como consecuencia de la difusión de innovaciones tecnológicas: cambios de formas de vida, creación de nuevas instituciones, desarrollo de nuevas regulaciones legales, cambios en las políticas educativas, etcétera.

Cada uno de estos procesos tiene una dinámica propia que le permite seguir una pauta de crecimiento exponencial o logística. Pero no son procesos independientes ni están conectados en forma simplemente lineal, sino más bien entrelazados en múltiples realimentaciones. Por ejemplo, la aparición de nuevas tecnologías, más eficientes, puede abortar la difusión de tecnologías anteriores masivamente utilizadas en un determinado sector de la actividad industrial. Por otra parte, la difusión de innovaciones tecnológicas da lugar a nuevas invenciones y los cambios sociales pueden influir en la dirección de las actividades de investigación y condicionar (potenciar o retrasar) los procesos de difusión de las innovaciones.

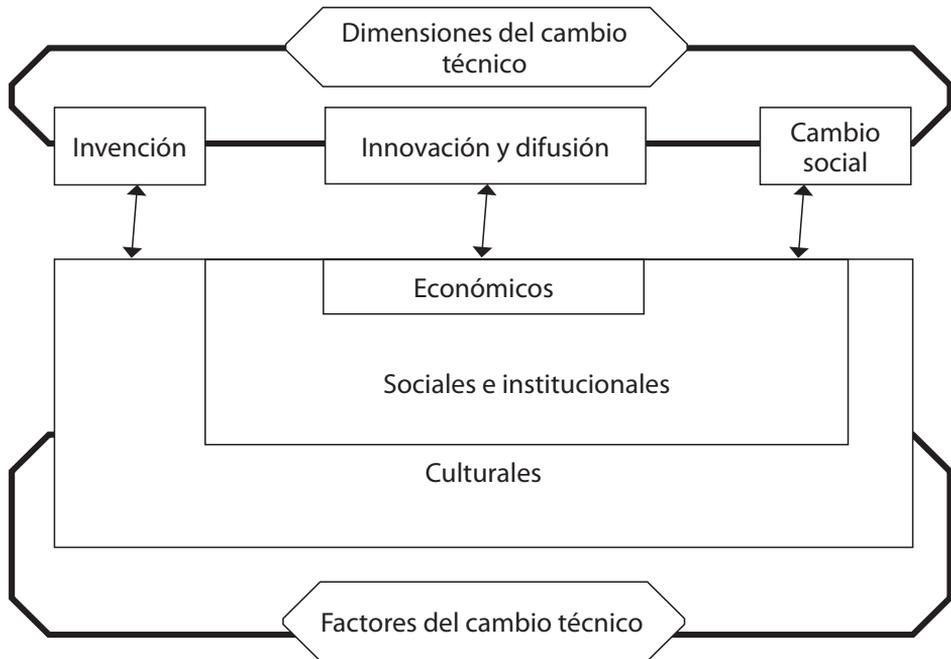


FIGURA VIII.1. Factores y dimensiones del cambio técnico.

En condiciones ideales, las curvas de crecimiento de cada uno de los procesos implicados en el cambio técnico presentarían cierto desfase temporal: por lo general, el crecimiento más rápido se produciría en las invenciones técnicas y el más lento en la innovación social. Pero una aceleración en cualquiera de estos procesos afectaría a los demás.

El modelo, aunque esquemático y puramente teórico, puede servir de base para entender la importancia de las decisiones políticas y la responsabilidad de la participación en la toma de decisiones en este campo: cualquier innovación tecnológica puede tener repercusiones importantes sobre la vida social, y cualquier iniciativa social puede afectar el desarrollo tecnológico. Por ejemplo, ya en los procesos iniciales de diseño de programas de investigación y desarrollo entran en juego decisiones políticas y criterios de evaluación de carácter social, económico, moral, además de otros criterios "internos" de carácter estrictamente científico y tecnológico (interés teórico, factibilidad tecnológica, etcétera).

Si algo está claro, después de cinco siglos de descubrimientos, es que nuestro

futuro depende de la ciencia y de la tecnología, pero el desarrollo científico y tecnológico está en nuestras manos.

7. CONSTRUIR EL FUTURO

Aunque los seres humanos somos los únicos responsables del desarrollo científico, tecnológico e industrial, cada individuo por sí solo difícilmente puede modificar el curso de la historia. En este campo, como en muchos otros, el resultado de muchas acciones individuales nunca equivale a la mera suma de todas ellas, siempre es algo diferente. Ésta es una de las razones por las que se necesitan las instituciones políticas, mediante las cuales, si son democráticas, los individuos pueden ejercer cierto control sobre los efectos colectivos de las decisiones de cada uno.

Hasta muy recientemente las decisiones en el campo del desarrollo tecnológico se tomaron en función de criterios ajenos a los principios del control democrático. En la Pequeña Ciencia los científicos decidían por sí mismos lo que querían investigar. En la Gran Ciencia los gestores de las empresas o de las instituciones públicas toman decisiones en función de criterios económicos, de interés militar o de interés político general. Los efectos de estas decisiones se pueden controlar indirectamente con los mecanismos del mercado o los procedimientos habituales de control del poder político.

Sin embargo, en la medida en que aumenta nuestro conocimiento de los mecanismos e implicaciones del desarrollo tecnológico aumenta también la conciencia de la necesidad de definir procedimientos específicos para la toma de decisiones en este campo, de superar el riesgo que supone seguir aplicando criterios inadecuados que pueden dar lugar a resultados contrarios a los pretendidos.

En realidad, el desarrollo tecnológico en la época de la Gran Ciencia ha contribuido a la aparición de problemas completamente nuevos e insospechados. Señalemos tan sólo los tres más importantes: la planetarización (hoy llamada globalización) de la sociedad actual, el aumento de la desigualdad de oportunidades para el desarrollo entre países ricos y países pobres, y la alarmante degradación del ambiente.

El fenómeno de la planetarización es un efecto directo de las innovaciones tecnológicas más radicales de nuestra época: las tecnologías de la comunicación y el transporte. El aumento de la desigualdad de oportunidades entre países ri-

cos y países pobres es una consecuencia del peso general que la capacidad científica y tecnológica tiene sobre el desarrollo económico y social. Hasta fechas recientes, los países menos desarrollados podían obtener ventajas comparativas en el comercio internacional basadas en sus recursos naturales o demográficos; en la actualidad, el peso de estas ventajas en el conjunto de las actividades económicas es mínimo, y en cambio ha crecido extraordinariamente el peso de las ventajas basadas en la capacidad científica y tecnológica. Pero el esfuerzo que un país atrasado necesita realizar para mejorar su posición en la carrera tecnológica es cada vez mayor y más difícil. El resultado es un círculo infernal: cuanto más avanza la tecnología en los países desarrollados mayor peso tiene en el conjunto de la economía mundial, mayor es la desventaja de los países menos desarrollados para competir en el nivel mundial, más difícil les resulta a éstos superar la situación y más se concentra aún la capacidad tecnológica en los países avanzados. Por último, el deterioro del ambiente también es, en buena medida, resultado del tipo de desarrollo tecnológico que se ha seguido a partir de la Revolución Industrial: ha crecido extraordinariamente la capacidad de la humanidad para alterar el medio natural, pero no se han desarrollado tecnologías orientadas a restaurar las modificaciones perniciosas, ni se ha seguido un camino conscientemente diseñado para mantener las modificaciones ambientales dentro de límites razonables.

Si estos problemas son en parte el fruto de un desarrollo tecnológico irreflexivo, el primer paso para buscarles solución es empezar a diseñar el futuro de la ciencia y la tecnología de forma más conveniente, e introducir las innovaciones sociales y políticas que nos permitan participar y controlar democráticamente las decisiones que afectan el desarrollo científico y tecnológico.

Todo es aún posible. El carácter planetario de nuestra civilización tecnológica hace que se planteen problemas de dimensiones planetarias, pero también permite que se pongan en marcha soluciones a escala mundial. Hay medios técnicos para ello. Las compañías multinacionales ya lo hacen: recogen información de todas las partes del mundo y toman decisiones a escala planetaria. Además, existen en el mundo suficientes recursos para iniciar un proceso de transferencia masiva de tecnología de los países más avanzados a los menos desarrollados, lo que facilitaría el desarrollo económico de éstos.

Por último, si la misma capacidad de innovación que durante dos siglos se ha aplicado a la explotación de los recursos naturales se aplicara ahora a la reconstrucción del ambiente, rápidamente podría cambiar la faz del planeta. Lo único que falta es el marco institucional y la voluntad política para afrontar es-

tos problemas como el núcleo esencial de una nueva política de desarrollo científico y tecnológico. Por otra parte, cabe esperar que el fin de la Guerra Fría permita liberar inmensos recursos económicos y humanos que podrán emplearse en la cooperación internacional y en la reconstrucción del ambiente. Nunca en el pasado había tenido la humanidad tantas posibilidades de construir su futuro.²

² Han pasado más de 10 años desde que escribí este párrafo. Por desgracia, no parece que el fin de la Guerra Fría haya supuesto liberar nuevos recursos para la cooperación y la reconstrucción del ambiente. Al contrario, ha habido más guerras, no ha aumentado la cooperación y las iniciativas más importantes para detener el deterioro del ambiente han sido boicoteadas por los países más poderosos.

IX. LA TECNOLOGÍA COMO PARADIGMA DE ACCIÓN RACIONAL

HAY DOS estrategias para construir una teoría filosófica de la racionalidad (tanto epistémica como práctica). Una consiste en intentar definir *a priori* un modelo normativo de racionalidad, basado en nuestras intuiciones, para pasar a constatar, de inmediato, que no hay ningún comportamiento real que se corresponda exactamente con el modelo. A partir de aquí lo más probable es que lleguemos a la conclusión de que los seres humanos somos básicamente irracionales. La otra estrategia es más fructífera y menos arriesgada: consiste en seleccionar un conjunto específico de actividades humanas que proponemos como prototipo o modelo ejemplar de racionalidad, analizar su contenido y su estructura e intentar perfilar un concepto general de racionalidad acorde con el paradigma seleccionado. A partir de aquí podemos asignar a nuestro modelo cierto valor normativo, pero ahora deberíamos hacerlo aceptando de antemano que, al menos en un caso (el que nos sirvió de ejemplar para definir el modelo), la norma efectivamente se cumple.

1. AVERROES, NEWTON Y EL RETRATO DE DORIAN GRAY

Yo creo que a lo largo de la historia de la filosofía la mayoría de los filósofos que han intentado caracterizar en qué consiste el pensamiento racional o la acción racional han seguido la segunda estrategia, aunque por alguna extraña razón casi todos han aparentado seguir la primera. Por ejemplo, parece que bastantes filósofos de la Europa medieval, tanto musulmanes como cristianos, definían lo que hoy llamaríamos la *racionalidad*, es decir, el *pensamiento filosófico ejercido por la razón natural sin ayuda de la revelación religiosa*, a partir de un modelo bien determinado: *racional era lo que decía Aristóteles* (o mejor, lo que ellos creían que había dicho Aristóteles, según los comentarios de Averroes);¹ aunque no parece

¹ Según sabemos por los eruditos en la materia (Cruz Hernández, 1963, pp. 339 y ss.), los comentarios de Averroes a las obras aristotélicas se difundieron entre los escolásticos latinos a partir de traducciones realizadas en Toledo entre 1217 y 1230; hacia 1250 estas obras eran ampliamente conocidas en los círculos

muy claro si pensaban que las doctrinas aristotélicas eran ejemplo de doctrinas racionales porque eran aristotélicas, o a la inversa, Aristóteles las había defendido porque eran racionales. Otro ejemplo: parece que la verdadera pretensión de Kant, en la *Crítica de la razón pura*, era entender el funcionamiento efectivo de la razón humana tomando como paradigma de conocimiento racional la ciencia de su época, en especial la mecánica de Newton. Pero por algún motivo en el que ahora no nos detendremos,² el propio Kant no contribuyó mucho a aclarar si su discurso tenía ese sentido, y más bien contribuyó activamente a que sus lectores pensaran que por fin había descubierto la estructura *a priori* de la razón humana, de la que la mecánica newtoniana no podía sino ser una lógica y necesaria realización. Podríamos llamar a esto la falacia de Dorian Gray: el retrato sustituye al original, que finalmente termina pareciendo un mero subproducto inevitable de su propio retrato.

Lo peor de los modelos apriorísticos de la racionalidad es que su destino inevitable es servir de coartada al irracionalismo. La historia de las últimas décadas de teorías sobre la racionalidad y el desarrollo de la ciencia es un ejemplo de esto. Especialmente llamativo es el destino de la metodología falsacionista de Karl Popper. Aparte de discusiones técnicas sobre la validez de la inducción o la probabilidad lógica, las ideas centrales de la teoría popperiana del método científico son de sentido común: en la investigación científica hay que seleccionar problemas interesantes, inventar hipótesis ambiciosas, capaces de resolver esos problemas, y controlar rigurosamente esas hipótesis intentando descubrir sus fallos. Este modelo simplificado de la racionalidad científica se puede generalizar para dar lugar a una teoría general de la racionalidad que se conoce como *racionalismo crítico*. Hasta aquí no hay ningún problema. Supongamos que algún otro filósofo, sociólogo o historiador de la ciencia propusiera alguna modificación del esquema simplificado del método científico y con ello nos permitiera enriquecer nuestra comprensión del paradigma de racionalidad epistémica. Si lo consideramos plausible, podríamos también modificar la teoría general del racionalismo crítico introduciendo aquellos matices que el nuevo modelo de racionalidad científica, más preciso y detallado, hiciera aconsejables. Por ejemplo, un historia-

universitarios de París, y entre 1250 y 1270 se extendió su uso entre los profesores de la Facultad de Artes como apoyo a sus pretensiones de enseñar filosofía sin subordinarse a las directrices de los “maestros en teología”. Las condenas de las tesis averroístas que proclamó el obispo Tempier en 1270 y 1277 parece que contribuyeron eficazmente a consolidar esta línea de “racionalismo” cuyo exponente más significativo fue Siger de Brabante (1240-1281).

² Karl Popper (1963, cap. 2) explica el fracaso de Kant por su creencia errónea de que la mecánica de Newton constituía una verdad definitiva y completa sobre el universo.

dor de la ciencia podría descubrir que durante largos periodos de tiempo, en muchas disciplinas científicas, se da de hecho un tipo de investigación más orientada a consolidar determinadas teorías y hechos que a lanzar nuevas hipótesis arriesgadas para explicar fenómenos completamente nuevos, y además descubre que es en estos contextos de “ciencia normal” en los que se producen las circunstancias (la aparición de anomalías) que mueven a los científicos a explorar terrenos desconocidos y a ponerse el disfraz de investigadores popperianos. Esto nos complicaría un poco el modelo inicial de racionalidad científica: ahora no sólo tendríamos que admitir que también es racional la paciente tarea de resolver pequeños enigmas o rompecabezas a la que se entregan muchos científicos y a la que nos entregamos también con frecuencia en la vida cotidiana, sino que además tendríamos que hacerlo sin renunciar a seguir considerando racionales las estrategias popperianas, aunque ahora no fueran las únicas que caracterizarían al método científico. Seguramente también tendríamos que modificar el modelo racionalista crítico, de manera que lo que entendiéramos por racionalidad en general fuera compatible con actividades tan diferentes como la de resolver pequeños enigmas y realizar o juzgar grandes descubrimientos.

Está claro que todo esto es lo que podía haber pasado con el modelo popperiano de racionalidad científica y su generalización como racionalismo crítico, a partir de la publicación de la *Estructura de las revoluciones científicas*, de Kuhn. La obra de Kuhn podría haberse leído no como una alternativa a la metodología falsacionista de Popper, sino como un enriquecimiento de la visión excesivamente simplificada del método científico que tal metodología proporcionaba. Y sobre todo, a partir de Kuhn podría haberse reconstruido un concepto más complejo de racionalidad epistémica o científica en vez de haberse abierto la puerta de la filosofía de la ciencia para la entrada en tromba de todas las corrientes irracionales de pensamiento que se han dado cita en este campo durante las últimas décadas. ¿Cuál es la causa de esta hecatombe? Yo creo que la misma que produjo tantos malentendidos en la filosofía medieval o en la filosofía alemana poskantiana: Popper concibió el racionalismo crítico como una generalización del modelo falsacionista que él había construido para caracterizar de forma simplificada el método científico; pero sus discípulos (y quizá él mismo) terminaron pensando que en realidad el falsacionismo no era sino el resultado de aplicar los principios generales de la racionalidad crítica al método de las ciencias empíricas. De ahí el efecto perverso del giro historicista que la obra de Kuhn imprime a la filosofía de la ciencia: no es que haya que revisar el modelo ejemplar de racionalidad epistémica que tomamos de la ciencia, es que la ciencia no responde al modelo norma-

tivo de racionalidad que propone el racionalismo crítico; en otras palabras, es que la ciencia no es racional.³

2. UNA VISIÓN POSTKUHNIANA DE LA RACIONALIDAD CIENTÍFICA

Pasados los años, es posible que las aguas vuelvan a su cauce. Las fiebres irracionales de los decenios de 1970 y 1980 pueden haber dejado secuelas irreversibles en la salud de algunas teorías filosóficas, pero también han contribuido a que se desarrolle una visión de la ciencia más compleja, más realista y más robusta que la que nos proporcionaban los modelos idealizados del positivismo lógico o del falsacionismo popperiano. Los trabajos recogidos en el volumen de la *Enciclopedia Iberoamericana de Filosofía* (Olivé [comp.], 1995) son una buena muestra de estas concepciones postkuhnianas de la racionalidad científica, en las que creo que pueden resaltarse algunas notas características, que Pérez Ransanz (1995) rastrea en los últimos escritos de Kuhn, pero que comparten varios de los trabajos allí recogidos (aparte del de Pérez Ransanz, véanse también los de Olivé, Broncano y Álvarez, entre otros):

1. *La ciencia se toma como modelo ejemplar de la racionalidad epistémica.* Pero se adopta un modelo empírico de la ciencia y del conocimiento científico, como resultado de actividades concretas llevadas a cabo por los científicos en circunstancias y contextos sociales bien determinados, caracterizables empíricamente por la sociología y la historia de la ciencia.
2. *No siempre existe una única respuesta óptima a cualquier problema científico: para el mismo problema puede haber varias respuestas, todas plausibles.* Trasladado esto al modelo general de racionalidad epistémica, da lugar a una visión pluralista de la racionalidad, no al abandono del racionalismo. Lo irracional no es que haya diferentes ideas o teorías en la ciencia. Al contrario, lo irracional sería que todo el mundo apostara siempre por una sola de ellas, lo que conduciría con toda probabilidad al estancamiento de la ciencia.
3. *No hay un sistema de reglas cuya aplicación mecánica permita definir el contenido de la racionalidad epistémica.* La racionalidad es más un asunto de

³ La recopilación de Lakatos y Musgrave (comps.) (1970) y en especial la introducción que Javier Muñerza (1975) escribió para la versión española son ilustrativas de las consecuencias que la obra de Kuhn tuvo para la revisión del racionalismo crítico.

discusión colectiva y de criterios para guiar, mantener y cerrar la discusión que de aplicación mecánica de reglas.

4. *La racionalidad requiere tiempo*: no se adoptan decisiones racionales sobre la verdad y el valor de una teoría científica en un instante, sino generalmente después de largas controversias y arduos esfuerzos por interpretar las distintas opciones.

Este enfoque de la racionalidad epistémica no permite por el momento resolver todos los problemas que se plantean en este campo. Concretamente deja abierta una cuestión esencial: la de la relación entre el valor racional y el valor veritativo del conocimiento científico. Sin embargo, tiene una ventaja evidente: permite recuperar, desde una perspectiva contextualizada histórica y sociológicamente, algunas notas características del modelo popperiano de racionalidad epistémica que no siempre se toman debidamente en consideración. Me refiero concretamente al *contenido innovador* o creativo de la actividad racional y al *carácter polémico* del discurso racional.

En efecto, independientemente de la importancia relativa que demos a la ciencia normal o a las revoluciones científicas, parece evidente que en todo caso la actividad científica tiene que ver ante todo con el *tratamiento de la novedad*. *Investigar es crear nuevos conocimientos*, ya sea de hechos concretos, pertenecientes a un tipo previamente conocido, ya sea de regularidades y teorías radicalmente innovadoras. En cualquier caso la actividad científica es una actividad innovadora y si la tomamos como modelo de racionalidad epistémica estamos suponiendo que *la racionalidad epistémica tiene que ver ante todo con la producción de novedad*, con la adquisición, aprendizaje, construcción o descubrimiento de conocimientos nuevos.⁴

También es interesante resaltar el *carácter polémico del discurso racional*, tal como podemos verlo en los debates científicos. El modelo de discurso científico no es el de un sistema axiomático, sino el de un debate académico, en el que existen diferentes puntos de vista, hay problemas de entendimiento mutuo, de interpretación de los significados que cada autor da a sus palabras y de cómo éstas son interpretadas por los demás, etc. Esto hace que, si queremos encontrar las pautas del discurso racional en el discurso científico, tengamos que aceptar que la racionalidad del discurso tiene más que ver con las normas de la discusión racional que con las reglas de la deducción.

⁴ Muguerza (1974) señalaba claramente esta dimensión básica del concepto de racionalidad que se abría paso en la filosofía postkuhniana de la ciencia: "La racionalidad tal vez consista en la capacidad del hombre de ciencia o la comunidad científica para hacer frente a nuevas e imprevisibles situaciones" (p. 211).

Conviene, sin embargo, hacer aquí una precisión que no sé si todos los autores postkuhnyanos a los que me he referido aceptarían, pero que a mí me parece esencial. El carácter controvertido o polémico (o dialéctico si se prefiere) del modelo científico de racionalidad epistémica difiere en un punto fundamental respecto a otros muchos sistemas de reglas para la discusión civilizada que legítimamente podrían proponerse como paradigmas de la actividad epistémica: se trata de que, a diferencia de lo que ocurre en otros ámbitos, en el ámbito científico las controversias se libran, no para llegar a acuerdos mediante el pacto o para mantener vivo el debate como una forma de estimular el ejercicio intelectual, sino para *poder cerrarlas mediante una apelación a criterios objetivos y definitivos que permitan zanjar la cuestión*. Hay muchos otros ámbitos de discusión y debate intelectual en los que no rige esta regla, o al menos no en forma tan estricta. Por ejemplo, en el debate político se acepta con naturalidad que, en determinadas circunstancias, la mejor forma de concluir un debate no es convenciendo (ganando) al adversario, sino pactando con él una solución de compromiso. Lo mismo ocurre con el eclecticismo filosófico asociado a las corrientes posmodernas de pensamiento, o con el movimiento ecuménico auspiciado por algunos movimientos religiosos: aunque cada una de las partes que intervienen en una controversia mantiene sus propias creencias como verdaderas, todos están dispuestos a admitir que los demás pueden tener razones irreducibles para mantener las suyas, de manera que la racionalidad de la discusión no tiene por qué abocarse al convencimiento de una de las partes, ni siquiera a la síntesis sincrética, sino simplemente a la coexistencia de opciones sólo parcialmente compatibles y siempre abiertas a la mutua contrastación. Pues bien, en mi opinión este modelo ecuménico de racionalidad es incompatible con el paradigma de la racionalidad científica. En la visión postkuhnyana de la racionalidad epistémica podemos y debemos admitir que siempre hay cuestiones abiertas en la ciencia, pero eso no significa que sea deseable que una cuestión científica pueda quedar abierta y sometida a controversia para siempre.

3. UNA FORMULACIÓN ESTÁNDAR DE LA RACIONALIDAD EPISTÉMICA

Tomando en cuenta estas consideraciones que nos acercan a un mayor compromiso con el principio de objetividad, podríamos resumir lo que llamaré la concepción estándar (o al menos mi idea de la concepción estándar) de la racionalidad epistémica en las siguientes tesis:

1. El conocimiento científico es el prototipo o *paradigma de conocimiento racional*.
2. El modelo de racionalidad epistémica inspirado en la ciencia es de *carácter procedimental*: consideramos el conocimiento científico como paradigma de conocimiento racional no por su contenido (o no principalmente por su contenido), sino por el método que se sigue para su descubrimiento, formulación, crítica y revisión.
3. Las tres características del procedimiento racional en la esfera de la racionalidad epistémica son la continuidad de la *tradición interna de la ciencia*, la *creatividad* intelectual como valor característico de esa tradición y la *crítica* de las innovaciones mediante *controles lógicos* (consistencia de las teorías) y *empíricos* (contrastación empírica de las teorías científicas). Estos tres elementos del procedimiento o método científico explican por qué es erróneo considerar el método de la ciencia como un *algoritmo de decisión epistémica* o el debate científico como un mero *diálogo sin final*. *Las reglas del método científico no garantizan un resultado seguro, pero obligan a buscar una solución definitiva a cada uno de los problemas a los que se aplican*.
4. Aunque no es posible entender el desarrollo de la ciencia como un proceso de aproximación a la verdad completa, ello no impide, sin embargo, que podamos hablar con sentido de una forma de *progreso acumulativo del conocimiento científico*.

No me voy a detener en justificar estas tesis básicas de lo que llamo la concepción estándar postkuhniana de la racionalidad epistémica. De la primera tesis ya hemos dicho que tanto Kant como los positivistas lógicos la comparten con toda la tradición racionalista e ilustrada del pensamiento filosófico de la modernidad. La segunda tesis se distancia del racionalismo moderno, pero sigue siendo en parte compatible con la concepción kantiana de la racionalidad y con la positivista. La tercera tesis es claramente popperiana y está formulada con la suficiente generalidad como para que se pueda considerar compatible incluso con las nuevas concepciones historicistas y sociológicas de la ciencia, de genealogía kuhniana. Por último, la cuarta tesis es algo más débil que la que defiende Popper, pero más fuerte que la que admitirían muchos filósofos historicistas de la ciencia. De todas maneras, si dejamos entre paréntesis el problema de la interpretación realista del conocimiento científico, creo que incluso los historicistas y los relativistas la admitirían, porque lo que afirma es que de hecho hay una acumulación

del conocimiento científico, y en esa medida un progreso, aunque sólo sea en la dimensión puramente interna de la ciencia.

Las implicaciones filosóficas más generales de esta concepción de la racionalidad se aprecian más fácilmente si se contrasta con algunos rasgos de la concepción kantiana. Lo primero que cabe resaltar es que ahora *el valor del conocimiento científico como paradigma de racionalidad es completamente independiente de cualquier consideración acerca de la certeza del conocimiento*. De ahí se deriva una consecuencia interesante en relación con la crítica kantiana (y también con la crítica positivista) a la metafísica. Podríamos expresarlo diciendo que ahora *cualquier tipo de conocimiento racional queda nivelado por un mismo rasero*: la distinción entre uso legítimo y uso ilegítimo de la razón teórica queda en entredicho. O con otras palabras: la diferencia entre ciencia y metafísica no es de naturaleza lógica, sino más bien una cuestión de grado. El pensamiento racional responde a la misma lógica tanto en la esfera del conocimiento empírico como en la de la especulación metafísica: la diferencia sólo reside en la mayor o menor dificultad para controlar el valor de nuestras teorías con criterios de continuidad con la tradición del pensamiento racional, de consistencia lógica y de relevancia empírica. Las teorías metafísicas no se pueden contrastar directamente con los hechos, pero podemos juzgarlas a la luz de su relevancia para explicar y promover nuevas teorías científicas.

Me parece que esta concepción estándar de la racionalidad tiene un indudable interés filosófico y supone una forma de pensamiento completamente original de nuestro tiempo. Veamos ahora, por seguir con el mismo esquema kantiano, qué cabe decir del otro polo de la racionalidad humana, la racionalidad práctica.

4. LA TÉCNICA COMO PARADIGMA DE LA RACIONALIDAD PRÁCTICA

Pues bien, mi propósito en las páginas que siguen es completar estas reflexiones postkuhnianas sobre la racionalidad epistémica y científica explorando las posibilidades de aplicar un enfoque parecido al campo de la *racionalidad práctica y técnica*.

Para filósofos avezados en estas cuestiones, hablar de racionalidad técnica es casi lo mismo que hablar de racionalidad instrumental o racionalidad de los medios. Y también aquí existe una pesada herencia que podemos calificar como la concepción tradicional de la racionalidad técnica, según la cual la cuestión de

la adecuación de los medios que pone en juego la acción humana para conseguir unos fines dados es una simple cuestión de *cálculo*: supuestos unos fines bien definidos y con un valor claramente determinado, y supuesto también el conocimiento adecuado acerca de los medios posibles para alcanzar esos fines así como la valoración del coste derivado de su empleo, la decisión racional sobre cómo actuar se debería poder obtener de forma automática aplicando algún criterio de optimización del valor resultante de la acción en cuestión. A partir de aquí los diferentes modelos de la teoría de la decisión racional podrían ilustrarnos convenientemente acerca de la lógica de la racionalidad práctica o técnica. Sin embargo, también en este campo han proliferado en los últimos años los enfoques históricos y sociológicos sobre la técnica, equivalentes a —y en cierto modo herederos de— lo que el enfoque de Kuhn supuso para la filosofía de la ciencia.

Mi propuesta es que también en este campo deberíamos cambiar el enfoque del problema. A semejanza de lo que hemos visto a propósito de la racionalidad epistémica, también aquí deberíamos proceder de forma inversa a como se procede en la concepción tradicional. En vez de partir de una teoría general de la racionalidad de la acción e intentar comprender a partir de ella el carácter específico de la acción técnica como una acción guiada por principios o procedimientos racionales, deberíamos proceder a la inversa: *seleccionar un tipo de acciones como modelo o paradigma de lo que intuitivamente entendemos como acción racional*, analizar su estructura y su lógica interna e intentar construir a partir del modelo el concepto general de acción racional.

Pues bien, mi propuesta es que tomemos la acción técnica, o más exactamente los sistemas de acciones que constituyen las *realizaciones tecnológicas*, como paradigma de acción racional, de forma semejante a como solemos tomar el conocimiento científico como paradigma de conocimiento racional. Un análisis de la estructura y la evolución de estos sistemas de acciones que son las tecnologías nos puede ayudar a elucidar la estructura de la acción racional.

En otras ocasiones (Quintanilla, 1981) he utilizado este tipo de argumentación analógica que consiste en trasladar las ideas y enfoques de la actual filosofía de la ciencia al planteamiento y análisis de los problemas de la filosofía práctica. Aunque no puedo decir que mis argumentaciones hayan tenido por el momento el éxito que me gustaría, creo que la empresa todavía no está en bancarrota, de modo que seguiré utilizando aquí la misma estrategia. Debo admitir, sin embargo, que la cuestión no es objetivamente tan sencilla como en el caso de la racionalidad epistémica. Ante todo, porque cualquier intento de trasladar los principios del racionalismo crítico a la esfera de la práctica choca con la distinción entre ra-

cionalidad instrumental (o mesológica) y racionalidad práctica (o teleológica), y con la objeción de que nada de lo que digamos acerca de la acción racional, desde el punto de vista de los criterios de la racionalidad instrumental, es relevante para aclarar la cuestión de la racionalidad de los fines últimos de la acción, que es el contenido fundamental de la racionalidad práctica. Si echamos un vistazo a las discusiones que mantiene Muguerza en su excelente libro (Muguerza, 1990) con todo tipo de racionalistas impenitentes, incluido el que esto escribe, veremos cómo esta invocación a *la otra racionalidad* es una constante omnipresente. Sin embargo, sigo pensando que es posible y necesario iluminar el concepto de racionalidad práctica a partir de consideraciones semejantes a las que en la esfera de la racionalidad teórica nos han llevado a lo que he llamado la concepción estándar. Y también pienso que para ello nos puede servir de ayuda realizar, en el campo de la filosofía de la técnica, un proceso de reconstrucción racional semejante al que se ha operado en las últimas décadas en el campo de la filosofía de la ciencia.

En vez de enzarzarnos desde el principio en discutir las diferencias entre racionalidad de los medios y racionalidad de los fines, supongamos por el momento que tenemos una caracterización estándar de la racionalidad práctica basada en una reconstrucción de la racionalidad tecnológica, paralela a la que hemos expuesto a propósito de la racionalidad epistémica basada en una reconstrucción de la ciencia. Mi primera propuesta es, por lo tanto, que consideremos la posibilidad de caracterizar la racionalidad práctica en los siguientes términos:

1. Los sistemas técnicos, considerados como *sistemas de acciones, orientados a la transformación de objetos concretos para conseguir de forma eficiente unos resultados que se consideran valiosos*, constituyen ejemplares o *paradigmas de la acción racional*.
2. Consideramos la acción tecnológica como prototipo de acción racional no por los objetivos o los resultados de la acción, sino por la forma en que se formulan tales objetivos y se consiguen los resultados: *el modelo de racionalidad de la acción tecnológica es procedimental, radica en los procedimientos para la toma de decisiones*, no en el contenido de las decisiones que se toman.
3. El método o el procedimiento tecnológico se basa en tres principios: la continuidad de las *trayectorias de desarrollo tecnológico*, la *innovación práctica* y el *control de la innovación* guiado por criterios tanto internos (*factibilidad y eficiencia*) como externos (*idoneidad y análisis de consecuencias*).
4. Aunque no se puede hablar de progreso técnico en un sentido absoluto,

que suponga cierta identificación de progreso técnico y progreso social o moral, sí es posible aceptar la idea de que el *progreso técnico, entendido como aumento de la capacidad humana de control sobre la realidad* (natural o artificial), es objetivo.

A partir de este enfoque podemos avanzar, respecto a las implicaciones de la racionalidad tecnológica para la ética, consideraciones paralelas a las que hemos hecho a propósito de las implicaciones de la concepción estándar de la racionalidad epistémica para la metafísica. Para decirlo de una vez: la cuestión de la adecuación de los medios y de la idoneidad de los fines de la acción quedan niveladas. No hay una diferencia lógica entre la racionalidad instrumental y la teleológica, sino una diferencia de grado respecto a las posibilidades de control crítico. Los fines últimos de la acción no pueden contrastarse directamente con criterios de éxito o eficiencia práctica, pero pueden juzgarse a la luz de su mayor o menor compatibilidad con las tecnologías disponibles o posibles y su mayor o menor capacidad para promover un desarrollo tecnológico viable y valioso. Naturalmente, esto puede interpretarse en el sentido aludido, como si estuviéramos reduciendo la racionalidad de los fines a la racionalidad de los medios. Pero me gustaría que se reparara más bien en la otra cara de la cuestión: lo que estoy proponiendo implica no tanto que la cuestión de la racionalidad de los fines se pueda reducir a la racionalidad instrumental, cuanto que al menos un aspecto importante de la racionalidad instrumental no es independiente de la cuestión de la racionalidad teleológica o de los fines. Creo que una forma bastante ilustrativa de apoyar esta tesis consiste en analizar un concepto central de la filosofía de la técnica, el concepto de eficiencia.

5. RENDIMIENTO ECONÓMICO Y EFICIENCIA TÉCNICA

Antes de entrar en una discusión general sobre la reducción o no de la racionalidad práctica a la racionalidad instrumental, creo que es útil señalar que la que yo propongo no es la única forma posible de caracterizar la racionalidad instrumental.

En realidad, en la esfera de la práctica sucede lo mismo que en la del conocimiento o las creencias: que podemos tomar como ejemplares de la racionalidad distintos tipos de acción y de normas. Por ejemplo, Kant, que tomó la mecánica de Newton como paradigma de conocimiento racional, optó por adoptar la moral puritana, o si se prefiere el sentimiento de deber moral, como paradigma de la

racionalidad práctica, a la que hizo así irreducible a la racionalidad instrumental aunque, presa una vez más del síndrome de Dorian Gray, terminó pensando que ese sentimiento moral era la expresión y no el modelo de la razón práctica. Pero hay otros muchos posibles modelos de racionalidad práctica, incluso en la esfera estricta de lo que aceptamos llamar racionalidad instrumental.

El más común en nuestra época es el modelo económico de la acción racional. Todo el mundo aceptaría como contenido intuitivo de la noción de acción racional (instrumentalmente racional, si se quiere) la afirmación de que actuar racionalmente equivale a utilizar los medios más adecuados para el fin propuesto. El problema con esta definición es que resulta vacía mientras no precisemos el significado de *adecuación de medios a fines*. Pues bien, lo que quiero señalar es que hay al menos dos formas de precisar esta noción que no deben confundirse. En primer lugar, para juzgar la adecuación de medios a fines de la acción se puede tomar como criterio uno de naturaleza económica o utilitaria: una vez asignado un valor a los medios y los fines de una acción, la acción más racional es aquella cuyo balance final arroja un valor más alto (es decir, aquella en que la diferencia ente el valor del resultado obtenido y el de los medios consumidos es más alta).

Generalmente se supone, sin discusión, que la noción de racionalidad instrumental (como adecuación de medios a fines) tiene que ser coextensiva con la noción de racionalidad o eficiencia económica analizada en estos términos, que la hacen equivalente, a su vez, a la noción de rendimiento o beneficio económico. Por mi parte creo que se trata, como ya he dicho, de otra expresión de la paradoja del retrato de Dorian Gray. Rememorando una lección de historia antigua que nos enseñaban en la escuela primaria, podríamos decir que primero observamos el comportamiento de los fenicios, que desembarcan en las costas españolas movidos por el afán de obtener el máximo beneficio en sus actividades comerciales, después generalizamos tomando este comportamiento como un ejemplo de racionalidad instrumental (adecuación de medios a fines), y finalmente volvemos a mirar la actividad de los fenicios y ahora ya sólo vemos en ella el pálido reflejo de nuestro modelo abstracto de acción racional. (Mientras tanto, Aníbal y sus cartagineses quedarán para siempre relegados al baúl donde guardamos los recuerdos de los fieros guerreros, consagrados en la memoria colectiva por sus gestas heroicas, no por la racionalidad de sus acciones, a pesar de que entre sus gestas hubo, al parecer, algunas de indudable valor técnico, como por ejemplo conseguir que los elefantes atravesaran la cordillera de los Alpes.)

Pues bien, mi posición sobre estos temas se puede resumir en los siguientes puntos:

1. La noción intuitiva de adecuación de medios a fines de la acción como criterio de racionalidad práctica se puede ilustrar con modelos ejemplares de distintos ámbitos, especialmente en el ámbito de la economía y de la tecnología.
2. El criterio de eficiencia o rendimiento económico y el criterio de eficiencia técnica no son equivalentes.
3. El criterio de eficiencia económica da lugar a consecuencias indeseables si lo adoptamos como paradigma de racionalidad práctica.
4. El criterio de eficiencia técnica es preferible como criterio de acción racional instrumental.

La diferencia entre eficiencia técnica y eficiencia económica se aprecia en forma bastante sencilla en muchos aspectos de la vida cotidiana: todo el mundo sabe distinguir entre el valor de un aparato electrodoméstico que funciona bien y su precio en el mercado. Y consideramos irracional no solamente adquirir un bien a un precio desorbitado, sino también adquirir un aparato que no funciona, aunque nos lo den gratis. Por esto debemos mantener los puntos 1 y 2: tanto la eficiencia económica como la eficiencia técnica están relacionadas con la noción de racionalidad instrumental, pero reflejan aspectos diferentes.

La tesis 3 es más difícil de justificar, aunque tiene gran trascendencia para la filosofía práctica. Lo que afirma no es que la eficiencia económica sea completamente ajena a la noción de racionalidad práctica, sino algo más limitado: que no me parece conveniente considerar la eficiencia económica como paradigma de la racionalidad práctica. Para decirlo en términos simples: no me parece razonable adoptar un modelo de racionalidad según el cual los comerciantes fenicios eran gente muy razonable porque lograban vender sus mercancías a buen precio, mientras los estrategas cartagineses, capaces de trasladar elefantes a cientos de kilómetros, atravesando cordilleras y peleando con el más poderoso ejército de la Antigüedad, resultan ser simples, aunque heroicos, iluminados.

La eficiencia económica depende de la valoración de los costes y beneficios de una acción; pero esta valoración es independiente de las características propias de la acción, se basa en apreciaciones subjetivas y está condicionada por circunstancias “externas” al agente. Una misma acción puede pasar de ser una respuesta racional a un problema a ser una respuesta irracional, por el simple hecho de que el banco central del país en el que se realiza esa acción decide cambiar en un momento el tipo de interés al que está dispuesto a prestar dinero. Para valorar la racionalidad de una acción es lógico que atendamos al coste y al beneficio que

se obtiene con ella en las circunstancias concretas en las que se produce, pero si generalizamos este criterio como paradigma de la racionalidad, nos condenamos a juzgar la racionalidad de nuestras acciones en función de criterios subjetivos, cambiantes y ajenos a la estructura propia de las acciones que juzgamos.

Si queremos recuperar el valor específico de la acción técnica, tenemos que reconstruir el concepto de eficiencia técnica en términos específicos, no contaminados de la noción de eficiencia económica. Para ello lo mejor es recuperar el sentido original de la noción de eficiencia, que proviene de la ingeniería y la termodinámica, como nos recuerda Mitcham (1994). En efecto, la eficiencia de un motor se mide como la ratio entre la energía transformada en trabajo útil y la energía total consumida por el motor. Si consideramos el valor (económico) de la energía total consumida como el coste de la acción del motor y el valor del trabajo realizado como el producto conseguido por la acción del motor, estamos transformando la eficiencia termodinámica en eficiencia económica. Pero como he demostrado en otras ocasiones, el concepto de eficiencia termodinámica se puede generalizar sin necesidad de introducir funciones de evaluación económica. La estrategia, sucintamente expuesta, consiste en distinguir entre los objetivos pretendidos de una acción y sus resultados efectivamente alcanzados y medir la eficiencia técnica como una función del nivel de ajuste o adecuación entre objetivos y resultados de la acción: una acción es tanto más eficiente en la medida en que consigue los objetivos que se propone y además consigue que no se produzcan resultados no deseados (Quintanilla, 1989).

Esta noción de eficiencia no es enteramente independiente de operaciones de evaluación, puesto que se basa en la distinción entre objetivos y resultados de una acción y supone que se asigna diferente valor a cada uno de estos conjuntos de "estados del mundo". Pero tiene una ventaja fundamental respecto a la noción de eficiencia económica: una vez establecida la línea divisoria que define los objetivos explícitos del sistema, la evaluación de la eficiencia es independiente de los valores concretos que asignemos a los elementos de uno y otro lado de la línea: una tecnología puede ser técnicamente eficiente, aunque sea económicamente (o moralmente) no rentable.

Cuando un ingeniero se propone realizar un nuevo proyecto tecnológico adopta diferentes criterios para guiar su acción. Mi pretensión es que el criterio de eficiencia técnica es el criterio más específico del diseño tecnológico, aquel por el cual juzgamos si un plan de acción es tecnológicamente aceptable, valioso o preferible a otro desde un punto de vista estrictamente técnico. Una acción técnica es una acción que se propone cambiar algo de la realidad de forma eficiente

para obtener un resultado que se considera valioso (Quintanilla, 1989). Y en esta expresión, “de forma eficiente” significa que la acción de que estamos hablando es efectiva (consigue en grado elevado lo que se propone) y ajustada (se minimizan los resultados no propuestos o no deseados). Naturalmente, en la evaluación de un proyecto tecnológico entran otros muchos criterios de carácter económico, moral, político o estético, y la decisión final para desarrollar, aplicar o usar un determinado sistema técnico, puede depender de cualquiera de esos criterios o de una determinada combinación de ellos. De hecho, incluso las decisiones técnicas se pueden justificar por criterios no técnicos: morales o estéticos, por ejemplo. Pero la cuestión importante es que ahora disponemos de una noción de “acción técnica” o de criterio técnico de justificación de una acción, que es irreducible a otros criterios o características de la acción. Una acción es técnicamente valiosa en la medida en que es eficiente.

¿Tiene algún sentido reclamar esta noción de eficiencia técnica, como modelo o paradigma de la acción racional? Antes de precipitarnos en la respuesta, recordemos la operación equivalente en la esfera de la racionalidad epistémica. Desde el punto de vista de una determinada concepción absolutista o dogmática del conocimiento, la operación de proponer el conocimiento científico como paradigma de la racionalidad epistémica en general puede parecer una locura. ¿Qué sucede con la supuesta necesidad de conocimientos absolutos sobre los cuales asentar todo el edificio del saber humano? ¿Es realmente plausible reducir la racionalidad epistémica a los estrechos márgenes del método científico que sólo ofrece conocimientos provisionales, tentativos, parciales, incompletos? No argumentaré nada a este propósito. Si alguien considera que este giro es inaceptable en la esfera de la racionalidad epistémica, considerará también inaceptable mi propuesta para la racionalidad práctica. Pero lo que me interesa sobre todo argumentar es que, si no tenemos objeciones serias a la estrategia racionalista en aquel caso, entonces tampoco deberíamos tenerlas en la presente situación. En otras palabras: si no nos parece inaceptable considerar la ciencia como paradigma de la racionalidad del conocimiento tampoco debería parecernos inaceptable considerar la tecnología como paradigma de la racionalidad de la acción.

Para espíritus atormentados, quizá pueda servir de consuelo saber que un filósofo como Ortega y Gasset (1939), nada sospechoso de furor racionalista, también consideraba que la acción técnica es un constituyente esencial de la realidad (racional) humana.

X. LA RACIONALIDAD INSTRUMENTAL

SE SUPONE que una acción intencional es instrumentalmente racional si emplea los medios más adecuados para conseguir el objetivo que se propone, y es teleológicamente racional si el fin propuesto es racional. Ahora bien, cualquier acción intencional se puede ver como un medio para conseguir un fin, de manera que cuando nos preguntamos por la racionalidad de una acción en particular casi siempre nos estamos refiriendo a la llamada racionalidad instrumental. Hablar de racionalidad de los fines sólo tiene un sentido propio cuando estamos hablando de los fines últimos, es decir, de aquellos que sólo se pueden justificar por su propio valor intrínseco y no por ser medios para otros fines más importantes (Mosterín, 1978). El principio “el fin no justifica los medios”, que se suele formular como un principio de limitación de la racionalidad instrumental, es falso si se refiere a los fines últimos de la acción, ya que la función de estos fines últimos es precisamente ésta: justificar las acciones que se ajustan a ellos y deslegitimar las que no se ajustan. Cuando alguien pretende conseguir el objetivo *O* utilizando los medios *M*, que son incompatibles con los fines últimos *F*, está actuando irracionalmente. Para actuar racionalmente debería o bien cambiar sus fines o bien abstenerse de utilizar esos medios que le alejan de la realización de sus fines. Por eso es irracional, por ejemplo, aceptar como fin último de la acción la protección de la dignidad humana y hacer cosas que atenten contra ella.¹ Así que, independientemente de la solución que se dé al problema de la justificación racional o moral de los fines últimos de la acción intencional humana, de lo que no cabe duda es de que el concepto de racionalidad instrumental o adecuación de medios a fines es básico para afrontar este tipo de problemas.

¹ Aunque éste no es el momento de entrar a discutir a fondo la cuestión de la justificación de los fines últimos de la acción humana, conviene advertir sobre la dificultad de encontrar justificaciones absolutas y, al mismo tiempo, precisas de nuestros fines últimos. Generalmente, éstos se formulan en términos abstractos, y sólo cuando extraemos cada una de las consecuencias concretas que de ellos se derivan podemos constatar en la práctica si éstas son o no compatibles con nuestras intuiciones morales. Por ejemplo, que se considere justificado clonar embriones humanos para investigar sobre las células madre no es un asunto que se pudiera decidir *a priori* y para siempre, antes de que supiéramos que ese tipo de investigaciones eran posibles científicamente y prometedoras para la medicina.

La disciplina filosófica que se ocupa en aclarar estos conceptos es la praxiología que, según su fundador, T. Kotarbinski (1965), es la teoría general de la acción eficiente. Mario Bunge también reivindica la importancia de esta disciplina a la que considera “la más básica y general de las teorías sociales” (Bunge, 1999, p. 381). Comparto con ambos autores el interés por la praxiología como teoría general de la acción humana. Además, considero que esta teoría es básica no solamente para las ciencias sociales, sino también para la *filosofía de la tecnología*, en especial para dilucidar el concepto de sistema técnico como sistema intencional de acciones. Desde esta perspectiva, resulta especialmente importante desarrollar la mayoría de los conceptos praxiológicos de Kotarbinski, en especial el concepto de *eficiencia técnica* y otros relacionados, cosa que iniciamos en *TEF*, utilizando el utillaje conceptual y metodológico de la praxiología sistémica y racional de Bunge. En este capítulo² me propongo completar la propuesta que hice en *TEF* presentando algunos desarrollos posteriores en torno al concepto de eficiencia que allí se define y reivindicando la identificación de la eficiencia técnica con la racionalidad instrumental.

En lo que sigue presentaremos nuestra argumentación en párrafos numerados para facilitar la exposición.

1) Partimos de las siguientes suposiciones que no vamos a discutir aquí:

- a) Los sistemas técnicos están formados no sólo de artefactos sino también de acciones realizadas por agentes intencionales que pretenden conseguir con ellas determinados objetivos.
- b) Una acción intencional $A_{xy}(O, R)$ se caracteriza, además de por su agente x y por el sistema y sobre el que se ejerce la acción, por el conjunto de los objetivos O y el resultado total R . Definimos O como el conjunto de estados de cosas que el agente x se propone conseguir mediante la acción $A_{xy}(O, R)$, y R como el conjunto de estados de cosas que de hecho genera.³ La expresión $O \cap R$ designa el conjunto de los objetivos efectiva-

² Versiones preliminares de estas ideas se han discutido y publicado en diversas ocasiones. En especial en el Congreso Mundial de Filosofía (Boston, 1998), en una mesa redonda organizada al efecto en la que participaron Eduardo Aibar, León Olivé y Dan Seni. Una versión parcial de las ideas aquí expuestas se encuentra en el artículo de Quintanilla y Lawler (2000). Los últimos desarrollos los presenté en las jornadas de homenaje a Mario Bunge, celebradas en la Universidad de Vigo, en el mes de mayo de 2003 (Quintanilla, 2003). En el capítulo siguiente volvemos sobre el problema general de la caracterización de la racionalidad práctica.

³ La noción de resultado *total* no coincide con la noción general de resultado que utilizamos en *TEF* (cap. III), sino más bien con lo que allí hemos llamado *estado final* del sistema compuesto en el que se produce la acción.

mente conseguidos, $O \setminus R$ los objetivos frustrados, $R \setminus O$ los resultados no pretendidos. En lo que sigue nos referiremos siempre a acciones intencionales, aunque hablemos en general de acciones y omitamos la referencia al agente y al paciente de la acción.

- c) Suponemos que en principio es posible asignar magnitudes a los conjuntos O y R , medir la distancia entre ellos, etc. Para ello basta suponer que O y R representan conjuntos de puntos en el espacio de estados del sistema compuesto $[x, y]$ en el que se produce la acción. (Véase Bunge, 1979, 1989.) Para representar las correspondientes magnitudes usaremos la notación $|O|$ y $|R|$, etcétera.

2) En la obra de Kotarbinski (1965) hay una acepción de la noción de eficiencia de la acción, según la cual ésta se identifica con la noción de “trabajo bien hecho”, efectivo, etcétera: “su objetivo [el de la praxiología] es la técnica del trabajo bueno, eficiente, en cuanto tal, [dar] indicaciones y advertencias importantes para cualquier trabajo que pretenda conseguir la máxima efectividad”.

Sin embargo, en el capítulo dedicado a los “valores praxiológicos” de la acción distingue claramente la *efectividad*, la *economía* de la acción y la *eficiencia* de la acción.

3) La *efectividad* de una acción consiste en su capacidad para conseguir su objetivo (puede haber también acciones contraefectivas: las que alejan del objetivo propuesto). Así pues, diremos, con Kotarbinski y Bunge (1989: 329-330), que una acción es *efectiva* si sus objetivos intencionales están incluidos en los resultados efectivamente conseguidos: la acción $A(O, R)$ con objetivos O y resultados R , es efectiva si, y sólo si, $O \subseteq R$ (lo que es lo mismo que $O \cap R = O$; $O \setminus R = \emptyset$).

Este concepto de efectividad es cualitativo; pero es, como veremos en 10), fácilmente generalizable de manera que podamos hablar del grado de efectividad de una acción.

4) Como señalamos en *TEF*, la *efectividad no es lo mismo que la eficiencia*. Cierta nivel de efectividad parece necesario para alcanzar un nivel mínimo de eficiencia. Sin embargo, una efectividad completa o máxima no garantiza un alto nivel de eficiencia. Matar moscas a cañonazos o ganar una guerra con bombas atómicas pueden ser ejemplos de acciones muy efectivas, pero nadie diría hoy que son ejemplos de eficiencia técnica. La razón por la que consideramos estas acciones poco eficientes es porque hay una desproporción entre los resultados conseguidos y los objetivos deseados.

- 5) Aunque la noción de eficiencia técnica es la noción más básica de la pra-

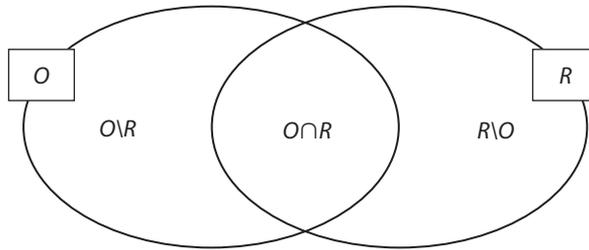


FIGURA IX.1. *Representación conjunta de los objetivos y resultados de una acción.*

xiología de Kotarbinski, este autor no ofrece una definición rigurosa y unívoca de la misma. Así pues, una vez aclarada la diferencia entre efectividad y eficiencia, todavía queda por dilucidar la noción de eficiencia. Ésta presenta al menos dos sentidos que conviene diferenciar: la eficiencia económica y la eficiencia técnica propiamente dicha.

6) Kotarbinski define el concepto de economía de la acción en términos del “gasto”, desperdicio o “decremento” de la acción y lo relaciona con la productividad:

La economía de una acción es un caso especial de la pureza de una acción. Cuanto más pura es una tarea, menos defectos, perjuicios, elementos extraños y otras propiedades indeseables, menos impurezas de cualquier tipo... Podríamos preguntarnos ¿cuándo la pureza de una tarea se convierte en economía? La respuesta es: cuando se evitan los “decrementos” (los desperdicios). Los decrementos son ciertos defectos, ciertas propiedades negativas entre las que pueden afectar a la tarea en cuestión. En lugar de “decrementos” usaremos, a menudo, con el mismo sentido, expresiones como “el uso de recursos”, y ocasionalmente el “gasto” o las “pérdidas” (Kotarbinski, 1965, p. 80).

Así entendida, la economía puede tomar la forma de productividad o ahorro. Pero “en ambos casos el factor decisivo es la relación entre el valor del producto y la cantidad de decrementos”.

... economía es reducible a eficiencia más ahorro. De dos acciones que produzcan productos del mismo valor, será más económica, en relación con un determinado criterio, aquella que produzca menos desperdicios. Y de dos acciones que generen los mismos desperdicios de una determinada clase, será más económica la que sea más productiva.

7) Este concepto de economía de la acción o de eficiencia económica es el mismo que formaliza Bunge en el *Treatise*, cuando define la eficiencia de una acción que utiliza los medios M para conseguir los objetivos O en términos de efectividad (O está incluido en M) y productividad económica (el valor de O es mucho mayor que el de M), motivo que se reproduce en Bunge (1999) al definir la racionalidad instrumental y en Bunge (2002), donde acepta la definición cuantitativa de efectividad propuesta por Quintanilla y Lawler (2000). En todos estos casos Bunge se mantiene fiel a la “Evaluación de la doble E: efectividad y economía” que proponía Kotarbinski (1972, *apud* Gasparski, 1993).

8) Por último, Kotarbinski distingue tres sentidos del término “eficiencia” (referidos estrictamente a la eficiencia técnica). Un sentido universal según el cual “eficiencia es un nombre genérico para cualquier valor práctico”. Un sentido sintético que significa “todos los valores prácticos de la acción considerados en conjunto. Según esta interpretación, cuanto más eficiente es una acción más se aproxima al ideal que consiste en incorporar todos los valores del trabajo bien hecho y ello en el grado máximo.” Un tercer sentido es el sentido de la eficiencia manipulativa: la habilidad para hacer algo sin cometer errores.

9) Creo que se puede dar un contenido preciso y cuantitativo a la *noción sintética de eficiencia* que propone Kotarbinski si distinguimos claramente las siguientes propiedades de la acción racional:

- A) Efectividad.
- B) Adecuación o ajuste.
- C) Productividad praxiológica.

Nuestra estrategia será definir estos conceptos de manera que las diferencias y relaciones queden claramente de manifiesto entre ellos. Además, definiremos el concepto de eficiencia técnica como una función de la efectividad y la adecuación y demostraremos que este concepto (que es el que propusimos en *TEF*) recoge las intuiciones básicas que están presentes en las propuestas de Kotarbinski y Bunge.

10) Con las convenciones notacionales establecidas en 1), podemos establecer las siguientes definiciones:

- a) $efec(A) = |O \cap R| / |O|$ es el grado de *efectividad* (o *eficacia*) de la acción A de x sobre y con el objetivo O y resultado R , ya que mide la *proporción de los objetivos conseguidos respecto a los pretendidos*. Esta definición

permite asignar un valor cuantitativo a la función de efectividad de Kotarbinski (1965) y Bunge (1989), y es la noción que propuse en *TEF* y en Quintanilla y Lawler (2000), aceptada por Bunge (2002).

- b) $frus(A) = |O \setminus R| / |O| = 1 - efec(A)$ es el grado de frustración de la misma acción, ya que mide la proporción de los objetivos no conseguidos respecto a los pretendidos.
- c) $ajus(A) = |O \cap R| / |R|$ es el grado de adecuación o ajuste de la acción, ya que mide la proporción de los objetivos conseguidos al total de resultados producidos (idealmente el ajuste sería máximo si se consiguieran todos y sólo los objetivos propuestos, sin desgaste ni residuo ni resultado no querido alguno).
- d) $cost(A) = |R \setminus O| / |R| = 1 - ajus(A)$ es el coste relativo de la acción, ya que mide la proporción de resultados indeseados respecto al total de los producidos.
- e) Por último, podemos definir la *productividad praxiológica* de una acción como la proporción de objetivos conseguidos respecto al total de resultados no queridos: $prod(A) = |O \cap R| / |R \setminus O|$. (Una aparente paradoja de esta fórmula es que para acciones máximamente efectivas y ajustadas, en las que $R = O$, la productividad es infinita puesto que $R \setminus O = \emptyset$: esto significa que debemos considerar $R = O$ como un caso límite no realizable, ya que, entre otras cosas, violaría las leyes de la termodinámica.) Así definida, la productividad depende completamente del ajuste o del coste relativo de la acción y permite captar el contenido intuitivo de la noción de economía de la acción de Kotarbinski.

11) Todos estos conceptos se han definido en términos de valores puramente praxiológicos (comparación de objetivos y resultados de la acción, sin incluir funciones de valoración de éstos). A partir de aquí se pueden introducir valoraciones de carácter económico, estético, moral, etc. En concreto, propongo que la *rentabilidad económica* de una acción se defina en función de la productividad praxiológica y de una función de valoración económica de los objetivos conseguidos $e(O \cap R)$ y los resultados no deseados o coste de la acción $e(R \setminus O)$:

$$e(A(O, R)) = e(O \cap R) / e(R \setminus O).$$

La ventaja de este planteamiento es que nos permite distinguir claramente la productividad praxiológica o técnica de una acción y su rentabilidad económica.

Esta última depende de la valoración que se haga de los objetivos conseguidos y los resultados no deseados, mientras que aquélla sólo depende de la comparación de las magnitudes correspondientes $O \cap R$, $R \setminus O$, no de su valor. Un motor con un determinado grado de eficiencia técnica (termodinámica, en este caso) puede dejar de ser económicamente rentable si varían los precios relativos de los objetivos conseguidos (trabajo realizado) y de los resultados no queridos (energía disipada en forma de calor).

12) Lo mismo puede hacerse con los valores morales de una acción, aunque aquí se presentan problemas debido a la no aditividad de algunos valores morales. Si una acción tiene un coste moralmente inaceptable (un disvalor moral absoluto), entonces la acción es inmoral, aunque el beneficio de la acción sea muy grande. Una forma de recoger esta intuición es admitir valores negativos para la función de valoración moral (como hace Bunge, 1999, p. 339) y definir el valor moral de una acción como el producto del valor de los objetivos O por el valor moral de los resultados no deseados $R \setminus O$. Así, si cualquiera de estos dos componentes es inmoral, la acción es inmoral.

13) Por último, puede definirse el grado de *eficiencia técnica* de una acción (el contenido intuitivo de la noción sintética de eficiencia técnica de Kotarbinski) con una fórmula que sintetiza en cierto modo las tres nociones de efectividad, ajuste y productividad de una acción, que es la que propusimos por primera vez en TEF:

$$efic(A) = |O \cap R| / |O \cup R|.$$

14) De la fórmula 13) se derivan las siguientes consecuencias:

- a) $efic(A) \leq \min(efec(A), ajus(A))$: la eficiencia de una acción nunca es mayor que su efectividad y su ajuste.
- b) Si la efectividad de una acción es nula, su ajuste es nulo y su eficiencia también.
- c) La eficiencia de una acción completamente efectiva es igual a su ajuste o adecuación, lo que es lo mismo que el complemento a 1 de su coste relativo (Bunge, 1989).
- d) Una acción más eficiente que otra puede ser económicamente menos rentable o no rentable en absoluto (dependiendo del valor económico de los “decrementos” $R \setminus O$ y los logros $O \cap R$ de cada una). Lo mismo se puede aplicar a la valoración moral, estética, política, etc., de una acción.

15) Ya podemos recuperar el concepto de *racionalidad instrumental* como adecuación de medios a fines. El criterio de racionalidad instrumental de la acción se puede formular en estos términos: la acción $A(O, R)$ es una acción instrumentalmente racional si es un medio adecuado para conseguir O . Esta noción de racionalidad instrumental (adecuación de medios a fines u objetivos), a pesar de su prestigio filosófico, no tiene un significado preciso, mientras no se especifique qué significa “adecuación” de medios a fines. Nuestra propuesta es que *el grado de racionalidad instrumental de una acción es lo mismo que su grado de eficiencia técnica*, tal como ha sido definido en 13).

16) La reivindicación de un concepto objetivo y puramente técnico de eficiencia tiene un interés tanto teórico como práctico. Desde el punto de vista teórico, nos permitirá comprender mejor algunos aspectos del desarrollo de las técnicas y de la estructura de la acción racional. Desde el punto de vista práctico, nos puede ayudar a diseñar políticas de desarrollo tecnológico orientadas a conseguir mayor eficiencia técnica, y no sólo más rentabilidad económica, y a conducir los debates públicos en torno a las opciones de desarrollo tecnológico en términos racionales.

XI. UNA ÉTICA PARA EL DESARROLLO TECNOLÓGICO

LOS PENSADORES ilustrados del siglo XVIII estaban convencidos de que el progreso material y el progreso moral de la humanidad eran dos caras inseparables de la misma moneda. Creían tanto en la capacidad de la ciencia y de la técnica para propiciar el bienestar de la humanidad como en las virtudes morales derivadas del simple ejercicio de la racionalidad en los asuntos prácticos de la vida de los individuos y de la organización social. Del espíritu de la Ilustración hemos heredado, por una parte, el poder de la ciencia y de la tecnología modernas y, por otra, la capacidad de organizar la convivencia en un Estado de derecho mediante la democracia representativa. Pero, en cambio, hemos perdido el optimismo racionalista que caracterizó a los ilustrados. Hasta tal punto esto es así que, a pesar de que vivimos en la época histórica en que más aceleradamente se producen los cambios tecnológicos y científicos, no resulta sin embargo nada evidente que tales cambios merezcan el calificativo de progresivos, sobre todo si consideramos el progreso no sólo desde una perspectiva material, sino también desde una perspectiva moral. Las razones para el pesimismo son las siguientes:

1. Hemos podido constatar que el progreso material, medido tan sólo en términos cuantitativos, no siempre conlleva un progreso en el bienestar de los individuos, o una mejora cualitativa en sus formas de vida.
2. El desarrollo tecnológico nos plantea continuamente nuevos problemas morales, y sin embargo no disponemos de criterios de valoración moral capaces de abarcar estos nuevos problemas.
3. El desarrollo tecnológico es un asunto de trascendencia política creciente: es un asunto de interés público tanto por lo que se refiere a la promoción del desarrollo científico y técnico, que requiere la intervención del Estado, como por lo que se refiere al control de sus consecuencias, que afectan a toda la sociedad. Pero la política no es hoy vista como una virtud cívica, sino como una técnica, a su vez, desprovista de toda dimensión moral.

Creo que uno de los retos culturales más importantes de las próximas décadas podría formularse así: tenemos que esforzarnos por reconstruir a la altura de

nuestra época una visión integrada de la racionalidad humana que nos permita recuperar el optimismo de la Ilustración. Esto sólo será posible si conseguimos articular una ética del desarrollo tecnológico, que nos permita afrontar las decisiones políticas en esta área fundamental para la vida de las sociedades avanzadas, desde una perspectiva moral.

A pesar de la buena voluntad de filósofos y pensadores, no creo que la tarea sea fácil. En concreto, no creo que los viejos esquemas del humanismo occidental sean suficientes para esta nueva moral del desarrollo tecnológico que necesitamos. Entre otras razones, porque la propia noción central del humanismo, la de la dignidad humana, está afectada por las transformaciones tecnológicas. De manera que, en nuestra tarea, no tenemos ningún punto de referencia en el que podamos apoyarnos. Piénsese, por ejemplo, en cómo las tecnologías biológicas nos ofrecen posibilidades que al mismo tiempo nos parecen beneficiosas para la humanidad e incompatibles con nuestras nociones previas de la dignidad humana: la fecundación *in vitro*, la biomecánica, la prolongación artificial de la vida, la alteración del código genético, la utilización de embriones humanos para la investigación. ¿Cómo renunciar al deseo de establecer límites morales a todas estas posibilidades tecnológicas? Pero ¿qué criterios debemos utilizar para guiarnos en nuestras valoraciones si la mera existencia de esas posibilidades técnicas altera radicalmente nuestros conceptos previos acerca de la vida humana?

Tampoco me parecen coherentes ni el refugio de la conciencia moral en una actitud de resistencia al cambio tecnológico ni la renuncia resignada y pesimista a su control desde instancias éticas racionales. Un requisito mínimo que se debe exigir a toda propuesta moral es que sea factible. Y es obvio que una ética de la resistencia generalizada frente al desarrollo tecnológico es sencillamente inviable o suicida. Puede tener efectos tangibles en ocasiones puntuales, como ocurre con los movimientos de impugnación frente a la expansión de la energía nuclear, pero no es viable como opción global: una moratoria generalizada del desarrollo tecnológico conduciría rápidamente a la destrucción de nuestra civilización. Y una ética que se limitara a poner piedras en el camino de tal desarrollo sólo tendrá el efecto de desviar el torrente de la innovación por vericuetos imprevistos que terminarán planteándonos el mismo tipo de problemas que estamos enfrentando ahora. Uno de los efectos perversos de la moral de la resistencia al cambio tecnológico es que sólo logra éxitos parciales a cambio de renunciar a afrontar los problemas globales desde un punto de vista racional.

¿Qué podemos hacer? ¿Hay alguna posibilidad de construir nuevos códigos morales, racionalmente fundados, que nos sirvan de guía para la adopción de

decisiones ante los nuevos retos del desarrollo tecnológico? Desde luego, existen en la actualidad varias propuestas parciales orientadas en esta dirección. Por ejemplo, se va extendiendo cierto consenso social respecto a la necesidad de garantizar condiciones mínimas de seguridad para las personas, trabajadores y usuarios, que puedan verse afectadas por la implantación de un nuevo proyecto tecnológico. Y lo mismo está ocurriendo en relación con la necesidad de prever y compensar el impacto ambiental de nuevas instalaciones industriales. Podemos ver en estos fenómenos el nacimiento de una nueva ética en la que ocuparán un lugar preeminente valores morales nuevos relacionados con la seguridad personal, la conservación de la naturaleza, etc. Dudo, sin embargo, que sea factible extender estos planteamientos parciales y tentativos hasta poder crear una nueva ética global del desarrollo tecnológico. Si tomamos en serio las características peculiares de la dinámica de los sistemas tecnológicos de nuestra época, hay razones de sobra para sospechar que ningún código moral formulado de acuerdo con criterios que nos parecen viables en el momento de establecerlos será capaz de resistir los cambios de mentalidad que la continua creación de nuevas posibilidades técnicas inducirá en nuestras sociedades. Peor aún: no creo que sea factible llegar a un consenso moral suficientemente generalizado y estable, porque la naturaleza de los problemas que se nos plantean es completamente diferente de lo que estamos acostumbrados a pensar.

Veamos, por ejemplo, el caso de la seguridad de las personas potencialmente afectadas por un proyecto tecnológico. Se plantean a este respecto problemas morales que sólo en apariencia son idénticos a otros problemas bien conocidos de la ética: la desigual distribución de costes y beneficios de una iniciativa con amplias repercusiones sociales. Hace tiempo que se inventaron formas de resolver estos problemas, por medio de la compensación: quien se ve expropiado por motivos de interés público recibe una compensación con cargo a la comunidad. Puede que la compensación sea más o menos justa, que haya o no acuerdo respecto a su cuantía, pero en todo caso existen procedimientos para calcularla y para llegar a la transacción. El problema surge cuando lo que hay que compensar no es una posible pérdida cuantificable, sino un riesgo que no se puede cuantificar objetivamente o una pérdida de seguridad que tiene un componente subjetivo ineludible. Es obvio que mediante los mecanismos del mercado podría llegar a establecerse cierto consenso respecto a las compensaciones a que tienen derecho los donantes de órganos, por ejemplo. Pero no veo ningún argumento que nos permita aceptar en este caso el resultado de las reglas del mercado como una garantía de moralidad y racionalidad. Como ocurrió en el siglo XIX con el mercado

de trabajo, estamos ante una situación en la que nuestras intuiciones morales van bastante más lejos que la pura racionalidad económica.

Algo parecido sucede en relación con los nuevos valores de una ética ecológica. Estamos convencidos de la importancia que tiene la conservación del ambiente. Y sabemos que las tecnologías industriales tienen repercusiones irreversibles sobre el medio en que se desenvuelve nuestra vida. Sólo hay un problema: este medio ya no es en absoluto natural ni podrá volver a serlo nunca. Y algo más fuerte aún: la única forma que conocemos de preservar determinados ambientes naturales consiste en someterlos a intervenciones técnicas artificiales que ineludiblemente terminarán alterando el medio que queremos preservar. Por ejemplo: una forma de preservar algunas especies naturales consiste en racionalizar su aprovechamiento como recursos con valor económico.

Pero hay sobre todo una cuestión ineludible y en mi opinión insuperable, que se planteará siempre que queramos elaborar una nueva ética del desarrollo tecnológico: las tecnologías actuales no sólo tienen efectos profundos y radicales sobre la seguridad de las personas o sobre el ambiente, sino ante todo sobre la propia estructura de nuestras sociedades, sobre la cultura, los sistemas de valores, etc. Cualquier cambio tecnológico de cierta magnitud supone abrir un nuevo camino para el cambio social cuya dirección no podemos prever y cuyas consecuencias no podemos valorar racionalmente, puesto que entre ellas, tarde o temprano, habrá que incluir un cambio en el propio sistema de valores con que ahora las afrontamos.

Creo que estas reflexiones deben ser suficientes para establecer una conclusión: la ética del desarrollo tecnológico no debe aspirar a encontrar un conjunto de nuevas normas de conducta objetivas y universalizables. No debe ser, por lo tanto, una ética de contenidos, sino de procedimientos y de actitudes. ¿Qué significa esto y qué consecuencias tiene para la tarea que nos proponíamos al principio, la tarea de recuperar el espíritu de la Ilustración?

La primera consecuencia es que deberíamos adoptar por principio una actitud de mayor distanciamiento intelectual —de mayor relativismo, si se quiere entender así— respecto al valor de cualquier máxima o código moral que proponemos para hacer frente a los problemas del desarrollo tecnológico. Sabemos que tendremos que emitir juicios morales sobre asuntos nuevos, y no podemos renunciar a esa obligación ni al deber de emitirlos con el máximo de racionalidad. Pero debemos ser conscientes de que todos nuestros juicios serán meramente tentativos, sujetos a rectificación, de que el mayor valor moral de nuestra nueva moralidad será su carácter provisional.

La segunda conclusión es que, en la ética que necesitamos, las normas que regulen los procedimientos para llegar a acuerdos colectivos sobre asuntos de interés general serán más importantes que los contenidos de los propios acuerdos que se logren alcanzar en cada momento. Esto quiere decir que debemos asignar mayor valor moral al respeto de las normas de procedimiento que al respeto de los propios acuerdos —siempre revisables— que mediante ellas se alcancen: ya que nunca podremos estar seguros de que todas las consecuencias que se deriven de nuestras decisiones son beneficiosas, al menos podremos exigir responsabilidad respecto a la forma en que se ha llegado a adoptarlas.

La tercera conclusión es que la nueva ética debe tener una dimensión pública y remitir directamente a la acción política. No es posible una dirección y un control racional del desarrollo tecnológico desde instancias individuales o sectoriales, de modo que hay que recuperar la dimensión moral del Estado, del poder público democráticamente ejercido, como un ámbito esencial para desarrollar una ética racional. Esto requiere un nuevo concepto de la cooperación racional entre individuos o, si se prefiere la expresión, un nuevo sentido de la solidaridad que debe expresarse mediante la participación política.

En resumen, la ética de la sociedad tecnológica debe ser una *ética provisional* basada en la *tolerancia*, una ética de *procedimientos* basada en la *responsabilidad*, y una ética de la *participación* en la vida pública basada en la *solidaridad*. Si lográramos avanzar en esta línea, no sólo podríamos disfrutar más plenamente de los beneficios de la técnica, sino que además podríamos sentirnos más satisfechos y optimistas por nuestra capacidad para actuar como seres racionales.

XII. TIPOS DE CONOCIMIENTO TECNOLÓGICO Y GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN

EL MODELO lineal de la innovación tecnológica como resultado de la aplicación del conocimiento científico al diseño de productos y procesos de interés económico está superado. En su lugar, hoy se tiende a utilizar un modelo más complejo en el que se toman en consideración, como factores de innovación, no sólo los resultados de procesos formales de investigación y desarrollo, sino una amplia gama de conocimientos de diversos tipos. La gestión de estos tipos de conocimiento requiere que las empresas adopten perspectivas diferentes de las tradicionales.

De acuerdo con la concepción tradicional, la innovación tecnológica es un proceso lineal: comienza con la adquisición de nuevo conocimiento, sigue con la aplicación de éste al diseño y puesta a punto de nuevos productos (o de nuevas formas de fabricar productos no nuevos) y termina en la comercialización y difusión de tales novedades. En la actualidad, la mayoría de los especialistas consideran que se trata de un proceso mucho más complejo, en el que el conocimiento desempeña un papel importante pero no reducible a la investigación aplicada.

Éstas son algunas de las nuevas ideas sobre el papel del conocimiento en la innovación industrial:

- 1) El conocimiento más útil para la innovación es el que se genera desde adentro y se incorpora a la cultura de la empresa.
- 2) La parte más importante del conocimiento incorporado a la cultura de la empresa es de carácter tácito y no se adquiere con procedimientos formales de transmisión de conocimientos, sino mediante el uso y la práctica.
- 3) La investigación científica y tecnológica es una fuente de ideas para la innovación, pero no es la única ni es por sí sola suficiente. La información que proviene de los usuarios o de los proveedores puede ser igual o más decisiva para la innovación.
- 4) La empresa debe adoptar estrategias de gestión integral del conocimiento.

Aunque hay un amplio consenso en relación con los principios generales, sigue habiendo dificultades para extraer de ellos consecuencias relevantes para la

gestión de la innovación en las empresas. Algunas de estas dificultades tienen su origen en la falta de precisión en alguna de las nociones básicas que se utilizan en la teoría de la innovación industrial. Aquí analizaremos en concreto dos acepciones de la noción de conocimiento técnico, estableciendo la distinción entre conocimiento técnico en sentido primario y en sentido secundario. Después utilizaremos esta distinción para proponer tres modelos de gestión del conocimiento en la empresa.

1. CLASES DE CONOCIMIENTO TÉCNICO

Una innovación tecnológica se puede definir como el proceso que consiste en diseñar, producir y comercializar un bien de valor económico con propiedades nuevas basadas en la tecnología. Toda innovación tecnológica se basa en la existencia de conocimientos nuevos que permiten concebir, diseñar y producir nuevos productos o procesos. Para tener una idea adecuada del papel del conocimiento en la innovación tecnológica, conviene tener en cuenta dos tipos de criterios para la clasificación de las formas del conocimiento.

Por una parte, desde el punto de vista del *contenido del conocimiento*, éste puede ser conocimiento representacional u operacional o práctico. El conocimiento representacional o *know that* consiste en la representación y explicación de las propiedades y regularidades características de entidades y procesos. El conocimiento operacional o *know how* se refiere a propiedades y reglas características de acciones u operaciones de transformación de cosas o procesos.

Por otra parte, desde el punto de vista de la *forma del conocimiento*, podemos distinguir entre conocimiento explícito y conocimiento tácito. El *conocimiento explícito* es el que se puede formular adecuadamente mediante un conjunto de enunciados. El *conocimiento tácito* es el conocimiento personal no formulado explícitamente mediante un conjunto de enunciados.

Con frecuencia se tiende a confundir los dos criterios de distinción de tipos de conocimiento, suponiendo que todo el conocimiento representacional es o puede ser explícito, mientras el conocimiento operacional o *know how* tiene al menos un componente tácito irreducible.

En realidad, los dos criterios de clasificación son independientes, de manera que las posibilidades reales son las que representamos en el cuadro XII.1.

La mayor parte del conocimiento científico, tanto básico como aplicado, es conocimiento representacional explícito, aunque también hay importantes elementos de conocimiento representacional tácito, que el conocimiento científico

CUADRO XII.1. *Tipos de conocimiento*

	<i>Representacional</i>	<i>Operacional</i>
<i>Explícito</i>	<i>Know that</i>	<i>Know how</i>
<i>Tácito</i>	Intuición	Habilidad

comparte con el arte, y de conocimiento operacional (técnicas de laboratorio) tanto explícito como tácito. Por otra parte, el conocimiento técnico es fundamentalmente conocimiento operacional o práctico y este tipo de conocimiento tiene un importante componente tácito. Pero no se puede simplificar la situación reduciendo el conocimiento técnico a conocimiento operacional tácito: los manuales de instrucciones de uso y mantenimiento de un sistema técnico son conocimiento operacional explícito, no tácito, y las teorías tecnológicas incluyen conocimientos explícitos, tanto operacionales como representacionales. En el cuadro adjunto podemos observar los cuatro tipos básicos de conocimiento que el cruce de los dos criterios nos permite distinguir.

Podemos ahora caracterizar dos tipos de *conocimiento técnico* que llamaremos primario y secundario. *Conocimiento técnico primario* es el conocimiento que poseen los operadores o usuarios de un sistema técnico, y que es necesario para que se pueda utilizar ese sistema en forma adecuada y eficiente. Este conocimiento técnico primario está formado en gran parte por habilidades, es decir, tiene un carácter operacional y tácito, pero no exclusivamente. Buena parte del conocimiento técnico primario es de naturaleza explícita: es el que se recoge y se formula en los manuales de operación y mantenimiento de los sistemas técnicos, que especifican las reglas de funcionamiento, las operaciones que se pueden realizar, en qué orden, etc. Por otra parte, cualquier conocimiento práctico u operacional, tácito o explícito, tiene componentes representacionales ineludibles (identificación del sistema, sus partes, propiedades, etcétera).

El *conocimiento técnico secundario* es el conocimiento que un tecnólogo tiene de las propiedades y reglas de operación de un sistema técnico. Incluye conocimientos tanto representacionales como operacionales, en su mayoría explícitos y formalizados (en las teorías tecnológicas, en los planos y diseños de los sistemas técnicos, etc.) que se refieren a la estructura, funcionamiento y producción de sistemas técnicos. En relación con el conocimiento técnico primario, el conocimiento secundario se puede entender como una forma de *metaconocimiento*: incluye normas, reglas y criterios acerca del tipo de conocimientos técnicos primarios

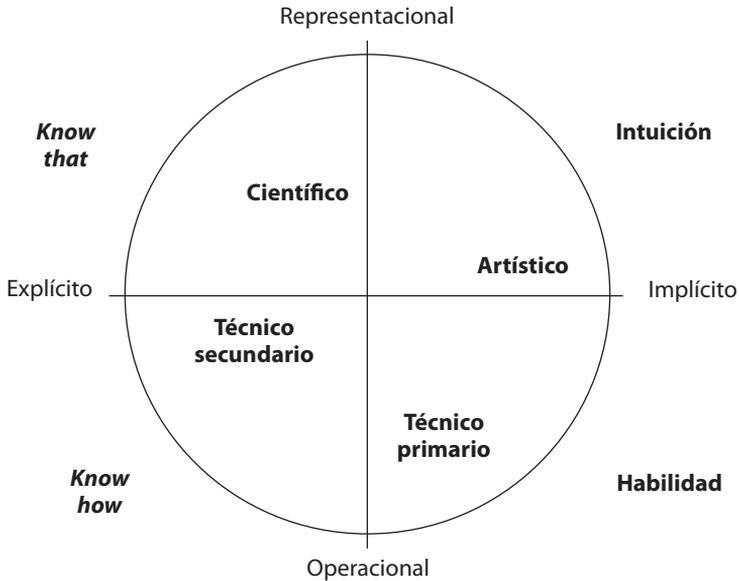


FIGURA XII.1. Tipos de conocimiento.

que los usuarios, operadores o constructores de un sistema técnico deben tener, pero que no se identifica con ellos.

Veamos unos ejemplos:

- 1) X sabe distinguir la luz roja de la luz verde.
- 2) X sabe que la luz roja significa *alto*.
- 3) Para que X pueda conducir un coche es preciso que X cumpla 1) y 2).
- 4) Si las luces de tráfico cambian a un ritmo muy rápido, la probabilidad de que los conductores cometan infracciones de tráfico aumenta.
- 5) Si quieres evitar que los conductores cometan muchas infracciones en un cruce, prueba aumentando el periodo en el que las luces verde y roja permanecen en el mismo estado.

Los enunciados 1) y 2) describen conocimientos técnicos primarios de X. En 1) puede tratarse de un conocimiento tácito: para que 1) sea verdadero no es preciso que X sepa 1). En 2) se trata posiblemente de un conocimiento técnico primario explícito: para que 2) sea verdadero es preciso que X sepa que lo es. Sin embargo, el enunciado 3) describe un conocimiento técnico secundario, referido en este caso al tipo de conocimiento primario que deben tener los usuarios de un

sistema técnico. Es evidente que 3) no implica ni 1) ni 2): un ingeniero daltónico sabe que un daltónico no puede conducir correctamente, pero no sabe distinguir la luz roja de la verde. Por otra parte, 4) es un ejemplo de conocimiento científico (hipótesis) aplicado que da lugar en 5) a un enunciado técnico secundario explícito (una recomendación técnica) que se refiere a la regulación del tráfico.

La distinción entre conocimiento técnico primario y conocimiento técnico secundario es importante para la gestión de la innovación en la empresa.

2. TRES CONCEPCIONES DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

Podemos clasificar los diferentes enfoques y teorías de la innovación tecnológica en tres grupos, según el papel que en cada uno de ellos se da a los diferentes tipos de conocimiento científico y tecnológico.

El primer grupo se caracteriza por un enfoque al que llamaremos *cognoscitivo*, y está formado por las teorías que conciben la innovación fundamentalmente como *conocimiento aplicado*. Los objetivos más importantes de la estrategia empresarial en relación con la innovación son adquirir nuevos conocimientos y encontrarles aplicaciones industrialmente viables y comercialmente interesantes. En este enfoque de la innovación la gestión del conocimiento en la empresa se lleva a cabo haciendo hincapié en las actividades de I+D, tanto endógenas como exógenas. Las principales opciones disponibles son:

- 1) Llevar a cabo programas propios de I+D en solitario o en colaboración con otras empresas o entidades de I+D.
- 2) Contratar actividades de I+D fuera de la empresa y utilizar los resultados.
- 3) Una mezcla de 1) y 2) que permita a la empresa mantener una capacidad propia de asimilación de nuevas ideas y conocimientos y beneficiarse de la mayor potencia de otras instituciones especializadas.

Este enfoque cognitivo de la innovación es especialmente apropiado para las *industrias basadas en la ciencia* (Pavitt), de tamaño medio o grande, que suelen contar con departamentos especializados de I+D a los que se les encomienda la misión de diseñar nuevos productos o procesos basados en conocimientos obtenidos con frecuencia en la frontera de la investigación científica y tecnológica. El conocimiento más relevante para este enfoque es el *conocimiento científico básico o aplicado*.

El segundo enfoque lo llamamos *instrumental* y se caracteriza por considerar como factor fundamental de la innovación tecnológica la *difusión de un nuevo producto o proceso*, cuyas propiedades características satisfacen necesidades definidas por el usuario. La gestión empresarial de la innovación se concentra en el análisis del mercado, la definición de especificaciones técnicas que sean capaces de satisfacer al cliente, la ingeniería de producción y el diseño de estrategias de *marketing* y de difusión de las innovaciones. Este estilo de gestión de la innovación parece especialmente apropiado para industrias de ingeniería, proveedores de equipos y de componentes tecnológicos, en los que el factor fundamental de competitividad es satisfacer, con un elevado nivel de calidad, las exigencias del cliente, más que encontrar nuevos productos para los que no existe una demanda previa. En estas industrias puede tener importancia el departamento propio de I+D, pero la calidad de respuesta a la demanda de innovación tecnológica depende más del *stock de conocimiento tecnológico acumulado secundario* que de las ideas radicalmente nuevas. Las actividades de I+D son un instrumento para resolver los problemas nuevos o las lagunas de conocimiento que surgen en el proceso de diseño de nuevos sistemas.

El tercer enfoque es el que llamaremos *praxiológico o sistémico*. La innovación se concibe como un proceso complejo en el que se toman en consideración las propuestas de mejora que surgen de la propia experiencia de la empresa en la producción y comercialización de sus productos. La gestión empresarial de la innovación se concentra, en este caso, en la optimización de los *proprios recursos tecnológicos primarios* de la empresa. Como característica peculiar, en este enfoque de la gestión de la innovación ocupa un lugar central la atención a la formación de recursos humanos de la empresa y con frecuencia también de sus clientes. Este modelo parece más apropiado para cualquier tipo de industria cuya competitividad pueda beneficiarse por la incorporación de innovaciones tecnológicas de tipo genérico u horizontal. En estos casos el objetivo principal de la gestión del conocimiento en la empresa es adquirir y difundir nuevas capacidades tecnológicas por medio de las políticas de formación de personal y de formación de usuarios, y el lugar central en la gestión de la innovación lo ocupa la gestión del conocimiento técnico primario.

En cada uno de estos tipos de industrias hay que buscar estrategias adecuadas para incorporar los diferentes tipos de conocimiento a la cultura productiva de la empresa de manera que potencien su capacidad de innovación. En la mayoría de los casos, la estrategia más adecuada consiste en una mezcla de las tres estrategias básicas: incorporación de resultados de actividades de I+D propias o

ajenas, aumento del conocimiento técnico secundario incorporado al departamento de ingeniería de producción y de *marketing*, y mejora de las capacidades tecnológicas primarias mediante las políticas de formación de empleados y usuarios. Lo que nuestro enfoque integrador nos permite comprender es que las diferentes estrategias responden a la diversidad de tipos de conocimiento que intervienen en los procesos de innovación tecnológica.

XIII. CULTURA TECNOLÓGICA E INNOVACIÓN

NOS PROPONEMOS explorar cómo los factores culturales pueden incidir en los procesos de innovación tecnológica. Para ello utilizaremos el modelo de cultura tecnológica que hemos propuesto en Quintanilla (1998).¹

Hay muchas definiciones y caracterizaciones de la cultura. La definición estándar más general es la que identifica la cultura de un determinado grupo social como la información que se transmite por aprendizaje social entre los miembros de ese grupo (Mosterín, 1993). Cultura es, por lo tanto, información y se contrapone a la información genética, que no se difunde por aprendizaje, sino por transmisión hereditaria entre los miembros de una especie. La información cultural puede ser de tres tipos: representacional, práctica y valorativa.

La *información representacional* consiste en conocimientos, imágenes, símbolos, formas de ver el mundo, etc. Incluye desde el conocimiento más elemental del entorno, que la madre transmite al niño desde los primeros momentos de la vida individual, hasta las teorías científicas más abstractas o los componentes representacionales de las cosmovisiones filosóficas más generales. Si queremos caracterizar el componente representacional de la cultura de un determinado grupo social, tendremos que definir fundamentalmente indicadores de *creencias* y *conocimientos* compartidos por los miembros de ese grupo y que son objeto de transmisión entre ellos por aprendizaje social (es decir, por imitación e instrucción, no por herencia biológica). Naturalmente hay diferentes niveles de formalización y de elaboración de los componentes representacionales de la cultura de un grupo social. Por ejemplo, en una sociedad plenamente alfabetizada se pueden delimitar los componentes cognitivos mínimos que comparten todos los miembros de esa sociedad, a partir de los contenidos que se transmiten en el sistema formal de enseñanza obligatoria. Por otra parte, en las encuestas de opinión

¹ Este modelo de cultura tecnológica debe mucho a las discusiones e intercambios de ideas que he mantenido en los últimos años con varias personas, especialmente con Alfonso Bravo, Eduardo Aibar y Juan Mulet. Este último, como director de la fundación Cotec, ha contribuido con su apoyo, sus críticas y sus sugerencias a configurar y mejorar mis ideas en este campo. De hecho, el presente capítulo tiene su origen en un texto preparado para el grupo de trabajo sobre Cultura Tecnológica de la fundación Cotec. En el libro de Aibar y Quintanilla (2002) se pueden encontrar también varias contribuciones relacionadas con las ideas que expongo aquí.

las cuestiones relativas a creencias o a niveles de información sobre cuestiones de hecho (“¿Sabe usted cómo se llama el ministro de Educación?”; o bien “¿Cuántos planetas hay en el Sistema Solar?”) sirven para captar precisamente componentes representacionales de la cultura del grupo social en cuestión.

La *información cultural de carácter práctico u operacional* consiste en las normas o reglas y formas de comportamiento características de un grupo y que son objeto de transmisión por aprendizaje social entre sus miembros. Esta información se puede clasificar en dos tipos principales: las *normas o reglas de actuación* que los miembros del grupo consideran que deben observarse en los diferentes tipos de actividades que llevan a cabo, y las *pautas efectivas o hábitos* de comportamiento que se observan en la práctica. También aquí los niveles de formalización y elaboración de este componente práctico u operacional de la cultura pueden ser muy diferentes. Desde las normas más elementales de comportamiento en sociedad hasta los más complejos códigos jurídicos, o desde las prácticas más comunes asociadas a los avatares de la vida cotidiana (los hábitos de higiene, de alimentación, etc.) hasta los más complejos rituales (el protocolo de los emperadores chinos) o las reglas de actuación técnica de obligada observancia para los operadores de un sistema complejo (protocolos de seguridad en una central nuclear, por ejemplo). También en este caso, en las sociedades humanas, los sistemas de educación formal son la causa de la transmisión de buena parte de los hábitos compartidos por la mayoría de la población, aunque existen otras muchas fuentes de generación y transmisión de hábitos y reglas de comportamiento. La evolución de las modas (en la forma de vestir, en los hábitos de consumo, etc.) es una prueba del dinamismo de este componente de la cultura en las sociedades modernas. Los estudios de mercado, encuestas de hábitos de consumo, etc., son un ejemplo de cómo se puede analizar empíricamente este componente práctico de la cultura de una sociedad.

La *información cultural valorativa* consiste en el conjunto de objetivos, fines de actuación y valores, preferencias o actitudes que se comparten y transmiten por aprendizaje social entre los miembros de un grupo social. También aquí podemos clasificar los componentes valorativos de la cultura en dos tipos que, para simplificar, llamaremos *fines y valores*. Los fines son objetos o estados de cosas concretos que se consideran dignos de ser conseguidos, de esforzarse por ellos, etc. Los valores podemos caracterizarlos como aquellos criterios que nos sirven para justificar nuestros fines. Por ejemplo, el valor que asignamos al dinero podría utilizarse como justificación de nuestro objetivo de ganar dinero. El valor de la solidaridad puede aducirse como justificación del comportamiento de los jóve-

nes que se trasladan a Galicia para ayudar a limpiar de petróleo sus playas. Los fines y valores compartidos por los miembros de una sociedad son componentes esenciales de su cultura, y a veces se consideran como los componentes más diferenciales de determinada cultura (lo que mejor caracteriza las diferencias entre, por ejemplo, la cultura islámica y la llamada cultura occidental, etc.). Mientras los fines u objetivos de la acción pueden variar de forma rápida, los valores suelen ser más estables, y suelen utilizarse para justificar y proponer diversos fines en función de las diferentes circunstancias. Tanto fines como valores son objeto de transmisión en los sistemas formales de enseñanza, pero también se generan y transmiten por medio de otros muchos mecanismos de difusión cultural: los medios de comunicación y entretenimiento, por ejemplo, crean y transmiten estereotipos de “héroes” que llevan asociados en forma implícita o explícita determinados valores, fines y estilos de vida. Las actitudes se pueden considerar como propensiones o tendencias a actuar de acuerdo con determinados valores en ciertas circunstancias. De ahí que los cuestionarios que miden actitudes de la población pueden ser un buen instrumento para el análisis de este componente de la cultura.

Naturalmente, la cultura de un grupo social no es una mera yuxtaposición de elementos representacionales, prácticos y valorativos, sin conexión entre sí. Nuestras creencias, nuestros hábitos y nuestros valores están íntimamente entrelazados y, en ocasiones, constituyen un conglomerado inextricable (¿cómo mantener determinadas prácticas y valores culturales de carácter sexista o racista, por ejemplo, a la luz de la información científica antropológica disponible actualmente? Y también: ¿cómo evitar comportamientos agresivos xenófobos en un clima cultural que exalta la violencia y transmite creencias racistas?).

Además, las diferentes culturas constituyen conglomerados dinámicos, sometidos a continuas alternaciones y variaciones y a presiones selectivas similares a las que experimenta la información genética. El contacto entre grupos sociales con culturas diferentes es uno de los motores más importantes de cambio cultural, como demuestra la historia universal. Pero en el seno de un mismo grupo social también se producen novedades culturales que son fruto de la propia curiosidad de los individuos, que les lleva a ensayar nuevas soluciones para viejos problemas o a enfrentarse a problemas nuevos para los que no tienen soluciones disponibles en su propia cultura. Que alguien invente una nueva teoría o forma de ver el mundo, o que alguien proponga un nuevo objetivo o ideal de vida, o una nueva forma de actuar ante determinadas situaciones, etc., son actos creativos que, si logran transmitirse en la sociedad, dan origen a cambios culturales más o menos duraderos y radicales.

Como veremos, una parte importante de los cambios culturales se producen en las innovaciones tecnológicas o son en sí mismos innovaciones tecnológicas. Pero nuestro objetivo ahora es analizar cómo determinados factores y procesos culturales pueden influir en este otro tipo de cambios o procesos sociales (de carácter también cultural, aunque no exclusivamente) que caracterizamos como innovación tecnológica.

1. LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

En un sistema económico se producen continuos cambios de naturaleza muy diversa. Algunos de estos cambios tienen su origen en la variación del conocimiento disponible, bien sea por la creación de nuevos conocimientos o por la asimilación de conocimientos previamente establecidos y su aplicación a la actividad económica. A los cambios que se introducen en la producción de riqueza o de bienestar social y que tienen su origen en la creación o asimilación de conocimientos y su aplicación los llamamos *innovaciones*. Así pues, en este contexto entendemos por *innovación el proceso que consiste en crear o asimilar conocimientos y aplicarlos para generar riqueza o bienestar social de una forma nueva*. Por lo tanto, podemos considerar la innovación como un tipo específico de actividad creativa: la que tiene por objeto la creación de riqueza o bienestar social.

En cualquier innovación se pueden distinguir dos momentos fundamentales: el *acceso al conocimiento* y su *transformación en riqueza* o bienestar. El acceso al conocimiento que da lugar a la innovación se puede dar a través de la *creación* de nuevos conocimientos o a través de la *asimilación* de conocimientos creados o descubiertos por otros. Generalmente los conocimientos que intervienen en los procesos de innovación son de dos tipos: representacionales (*saber qué*) y operacionales (*saber cómo*), y tienen diferentes grados de formalización, desde el nivel mínimo de los conocimientos tácitos, implícitos o informales, hasta el nivel máximo de los conocimientos plenamente formalizados y explícitos que se codifican en lenguajes de carácter general o especializado, como el lenguaje científico.

La transformación del conocimiento en riqueza se produce mediante múltiples vías, definiendo así los diferentes tipos de innovación. Por ejemplo, la experiencia y el conocimiento gerencial pueden dar lugar a *innovaciones organizativas* en una empresa que permitan un uso más racional de sus recursos humanos o materiales, con el consiguiente aumento de la productividad y de la riqueza. Las innovaciones organizativas introducidas en el servicio público de salud o en el sistema de enseñanza obligatoria pueden mejorar el bienestar social. Un tipo de

innovaciones de gran interés para las empresas son las que se derivan del conocimiento del mercado y consisten en la adaptación de la actividad de la empresa o de sus productos a las demandas de ese mercado. A este grupo pertenecen las *innovaciones comerciales* que abarcan desde las novedades introducidas en la presentación o en la publicidad de un producto hasta la apertura de nuevos puntos de venta o la invención de nuevos sistemas de comercialización, de financiación al cliente, etcétera.

En términos absolutos, la introducción de una innovación en un sistema económico significa que por primera vez se hace algo, con valor económico, que nunca antes se había hecho en ningún sitio. En la práctica conviene distinguir *innovaciones universales* e *innovaciones locales*, relativas a determinada empresa, país o sector. Por ejemplo, la sustitución de las cadenas de montaje por células integrales de producción es una innovación organizativa de carácter absoluto o universal, que se puede aplicar localmente a muchas fábricas diferentes. Cada vez que este cambio se introduce en una empresa concreta se produce una innovación de carácter “local”, relativa a esa empresa.

De todos los tipos de innovación empresarial, el único que nos interesa en este contexto es el que se denomina *innovación tecnológica*. Las innovaciones tecnológicas se caracterizan por lo siguiente:

- a) Son innovaciones basadas en *conocimientos tecnológicos*.
- b) Tienen lugar en la *producción* de bienes y servicios, bien sea porque consisten en la creación de un nuevo tipo de producto o servicio (*innovación de producto*), bien porque consisten en la introducción de una nueva forma de producir un producto o servicio ya existente (*innovación de proceso*).

Por consiguiente, definiremos *la innovación tecnológica como aquella que consiste en la generación de riqueza o bienestar social, mediante la introducción en el sistema económico de nuevos productos, servicios o procesos de producción basados en la aplicación de conocimiento tecnológico*.

La referencia al conocimiento tecnológico es esencial en este tipo de innovación. El conocimiento tecnológico es un tipo específico de conocimiento técnico. Entendemos por *conocimiento técnico el conjunto de habilidades y saberes operacionales que, en forma sistemática, permiten conseguir algo que se considera valioso o resolver determinados problemas prácticos en los que estamos interesados*. El conocimiento técnico se puede basar en la experiencia acumulada, individual o colectivamente, o en la búsqueda sistemática de nuevos conocimientos y de sus

aplicaciones prácticas por medio de las actividades de I+D. En este último caso se suele hablar de *conocimiento tecnológico*. El conocimiento tecnológico es doblemente dependiente de la ciencia: depende de los conocimientos científicos y de los métodos científicos de investigación.

A lo largo de la evolución de la humanidad se han producido numerosas innovaciones técnicas. De hecho, utilizamos algunas de estas innovaciones para jalonar las etapas principales de esa evolución. *Uno de los rasgos específicos de la actividad económica actual es la importancia que han adquirido las innovaciones tecnológicas como una de las fuentes principales de riqueza y bienestar.*

Durante años se ha pensado que la innovación tecnológica es un proceso lineal que empieza en la concepción de una nueva idea (la invención) y termina en la difusión social (comercialización) de un nuevo producto o proceso. Hoy sabemos que se trata de un proceso muy complejo, en el que aparecen realimentaciones continuas e interacciones con muchos factores de diferente naturaleza. Pero en todo caso se mantiene como elemento clave de la innovación tecnológica el hecho de que es inseparable de la producción o asimilación de *nuevos conocimientos tecnológicos* (es decir, de base científica y de carácter sistemático) y del diseño, ejecución, comercialización y difusión de *nuevos productos y procesos*.

Podemos distinguir *tres momentos principales* en el proceso de innovación tecnológica:

- a) La *concepción de la idea*, producto o proceso nuevo que se quiere introducir en el mercado.
- b) El *desarrollo* de esa idea para convertirla en un producto viable técnica, económica y socialmente.
- c) La *producción y difusión* del nuevo producto o proceso, resultado del desarrollo de la idea.

Todo el proceso de la innovación se desenvuelve en un doble contexto: el contexto tecnológico (caracterizado principalmente por los conocimientos tecnológicos disponibles más los generados en el propio proceso) y el contexto social (representado principal pero no exclusivamente por el mercado). El proceso de innovación se ve influido por ambos contextos, de los que emanan flujos de información que condicionan, posibilitan y dirigen la innovación. Al mismo tiempo, el propio proceso está realimentado de manera que los resultados de cada etapa pueden repercutir en el resto y el conjunto del proceso modifica el propio contexto tecnológico, al que aporta nuevas técnicas, nuevos conocien-

tos, etc., y el contexto social, en el que aparecen nuevas necesidades, nuevas demandas y oportunidades.

Además de los flujos de información, hay otros procesos y factores de muy diverso tipo que influyen *causalmente* en la innovación. Por ejemplo, en una economía de subsistencia hay pocas probabilidades de que surjan ideas nuevas y menos aún de que las ideas nuevas se conviertan en productos viables. Así que resulta plausible pensar que cierto nivel general de desarrollo económico y de división del trabajo pueden favorecer la aparición de nuevas ideas que puedan dar lugar a innovaciones. De hecho, la existencia previa de excedentes, junto con la aparición de una mínima división social del trabajo que permita la especialización técnica, parece una constante de todos los procesos históricos de innovación. Ésta es además una condición que la innovación tecnológica comparte con cualquier proceso de innovación social: los hombres de Altamira seguramente pudieron dedicar su tiempo y sus esfuerzos a pintar en las paredes gracias a los excedentes de una buena jornada de caza y a que otras tareas domésticas eran llevadas a cabo seguramente por otros miembros del clan. Otros factores (algunos de carácter cultural, como la vigencia de determinados valores, como la expectativa de obtener riqueza o bienestar; el “esfuerzo por ahorrar esfuerzo” en palabras de Ortega y Gasset, 1939) parecen también necesarios si queremos comprender adecuadamente la aparición de ideas que pueden dar lugar a innovaciones tecnológicas a diferencia de las que dan lugar a otros procesos de innovación social.

El proceso de transformación de la idea inicial en un producto técnica, económica y socialmente viable es el núcleo esencial del proceso de innovación. De nuevo se pueden señalar múltiples factores que incidirán en este proceso. Por una parte, es preciso disponer de la capacidad técnica adecuada para diseñar el nuevo sistema, comprobar sus prestaciones, su fiabilidad, etc. Por otra parte, se requiere disponer de medios adecuados y suficientes, lo que a su vez puede depender de la cantidad de recursos disponibles en términos de capital, materias primas, fuerza de trabajo calificada, etcétera.

Lo mismo cabe decir de la última fase de la innovación: la puesta en producción y la comercialización del nuevo sistema (producto, servicio o proceso). Intervienen aquí factores de ingeniería de producción junto a estrategias financieras, campañas de *marketing*, creación de sistemas de asistencia técnica posventa, etc. Todo ello incide en la culminación con éxito o fracaso del proceso de innovación.

Por último, hay que señalar que todo el proceso está fuertemente realimentado. La idea original sufre drásticas modificaciones a lo largo de las etapas de dise-

ño y desarrollo, que a su vez se ve condicionado por las exigencias del proceso de producción o por los resultados de las investigaciones de mercado preliminares, etc. Y finalmente, los propios contextos social y tecnológico se alteran en forma más o menos profunda como resultado de la innovación.

2. FACTORES CULTURALES DE LA INNOVACIÓN

El conocimiento es una parte importante de la cultura. Por consiguiente, toda innovación tiene una importante dimensión cultural. Lo que nos interesa indagar, sin embargo, es cómo se articula el conjunto de elementos que constituyen la cultura de un país, una región, una empresa o cualquier otro grupo social y cómo influyen esos elementos culturales en el proceso de innovación tecnológica. Para ello procederemos en dos pasos:

- a) Caracterizar aquellos rasgos culturales que consideramos que pueden tener especial relevancia en relación con la tecnología (lo que llamamos *cultura tecnológica*).
- b) Analizar cómo la cultura tecnológica puede influir en el proceso de innovación tecnológica.

En primer lugar, definimos *cultura tecnológica de un grupo social* como la *información representacional, práctica o valorativa que comparten los miembros del grupo y que son potencialmente relevantes para la creación, producción, posesión o utilización de tecnologías o sistemas tecnológicos*. Una tecnología es una entidad abstracta que consiste en un conjunto de conocimientos adecuados para diseñar, producir y utilizar sistemas tecnológicos capaces de resolver problemas prácticos de determinado tipo. Un sistema tecnológico, en cambio, es una cosa concreta, un artefacto o sistema de artefactos, diseñado y producido de acuerdo con los conocimientos tecnológicos correspondientes, que usado convenientemente nos permite conseguir, con determinado nivel de eficiencia, resultados prácticos que consideramos valiosos.

La distinción entre tecnologías y sistemas tecnológicos es relevante para nuestros fines. Una empresa puede disponer de equipos que incorporan determinada tecnología y ser capaz de usarlos sin necesidad de dominar la tecnología propiamente dicha. La situación actual de dependencia tecnológica de la mayoría de las empresas en el campo de las tecnologías informáticas es un ejemplo de esta

situación. Por otra parte, el dominio de una tecnología no es condición suficiente para garantizar la capacidad de usarla en la innovación incorporándola a nuevos procesos o productos. Uno de los problemas que nuestro modelo de cultura tecnológica debería afrontar es precisamente explicar qué factores culturales influyen en la diferente capacidad innovadora de grupos sociales (o empresas) que comparten una misma tecnología.

También es conveniente distinguir dos tipos de elementos culturales que se pueden considerar como componentes de la cultura tecnológica de un grupo social. Por una parte, los elementos que están ya de hecho *incorporados a sistemas tecnológicos* que ese grupo domina y, por otra, los elementos culturales no incorporados a sistemas tecnológicos, pero que son *potencialmente relevantes para el uso, diseño o producción de la tecnología*. Un criterio para distinguir estos dos tipos de elementos de la cultura tecnológica puede ser el siguiente: hablamos de elementos de cultura tecnológica *incorporados* a un sistema técnico cuando nos referimos a la información cultural (representacional, práctica o valorativa) que el agente u operador del sistema debe tener para que el sistema funcione adecuadamente. Por el contrario, hablamos de cultura tecnológica *no incorporada* cuando se trata de elementos culturales relacionados con el uso, producción, etc., de sistemas técnicos, pero que no son esenciales para el correcto funcionamiento de éstos. Por ejemplo: para pilotar un avión comercial el piloto necesita incorporar a su bagaje cultural algunas informaciones de carácter representacional, operacional y valorativo que constituyen la cultura tecnológica incorporada a ese tipo de sistemas tecnológicos. Sin esa cultura incorporada (que el piloto habrá aprendido generalmente en una escuela de vuelo comercial) no podrá pilotar correctamente un avión. Sin embargo, el mismo piloto puede tener ideas acerca de la tecnología de la aviación comercial que no hacen de él mejor o peor piloto, pero que pueden influir en su actitud hacia esa tecnología: puede, por ejemplo, pensar que la tecnología aérea es un producto típico del capitalismo occidental y que debe ser utilizada para destruir el propio capitalismo, o por el contrario pensar que se trata de un logro del espíritu humano que debe ser utilizado y mejorado para aumentar el bienestar y la riqueza de los pueblos.²

Por último, se puede distinguir también entre cultura tecnológica genérica y específica. La primera contiene elementos culturales que se refieren a la tecnología en su conjunto o a un grupo amplio de tecnologías, mientras que la segunda

² Las trágicas experiencias del terrorismo internacional de estos años ilustran lo que pueden llegar a significar estas diferencias.

se refiere a tecnologías o clases de sistemas tecnológicos específicos. Cruzando las dos clasificaciones obtenemos el cuadro adjunto. Para cada grupo social, empresa, país, región, etc., podría construirse, en principio, el “mapa” de su cultura tecnológica, rellenando cada una de las casillas del cuadro. ¿Qué podemos decir, a partir de aquí, sobre la influencia de factores culturales en el proceso de innovación?

Supongamos que tuviéramos definida la tasa de innovación tecnológica de un grupo social, en términos aceptables, como por ejemplo la cantidad de innovaciones que ese grupo ha producido en un lapso de tiempo, o el porcentaje de la riqueza generada que se debe a innovaciones tecnológicas, o alguna otra medida del nivel efectivo de innovación tecnológica alcanzado por el grupo. Nuestro problema será entonces indagar si esa medida del nivel de innovación se correlaciona con algún conjunto de variables que representen el estado o la evolución de la cultura tecnológica de ese grupo social.

Una hipótesis intuitiva y plausible a primera vista es la que se articula en torno a los siguientes puntos:

1. Para cualquier grupo social (empresa, país, región, etc.) su *nivel o tasa de innovación* depende de dos factores: su *capacidad de innovación* y su *propensión a innovar*.
2. La *capacidad de innovación tecnológica* de un grupo social depende de las tecnologías que están disponibles para él, es decir, de la cultura tecnológica incorporada a sistemas técnicos que está integrada en la cultura del grupo.
3. La *propensión a innovar en el ámbito de la tecnología* de un grupo social depende de determinadas representaciones, actitudes, valores y pautas de comportamiento referidas a la tecnología y los sistemas técnicos (cultura tecnológica no incorporada) que comparten los miembros del grupo.

Explicemos brevemente el contenido de estas hipótesis. La primera es en realidad una hipótesis trivial. Sólo dice que el hecho de que un país o una empresa haya alcanzado o pueda alcanzar un elevado grado de éxito en la innovación tecnológica tiene que ver, por una parte, con la disponibilidad de recursos o capacidades para innovar y, por otra, con la decisión de usar efectivamente esa capacidad para realizar innovaciones tecnológicas. Ahora bien, podemos suponer que la capacidad de innovación es una variable acumulativa: cuanto más innovamos más rápidamente aumentan nuestras capacidades para innovar. Ello se debe a dos hechos bien conocidos: el carácter acumulativo del desarrollo tecnológico (la producción de una innovación tecnológica puede abrir una nueva trayectoria

CUADRO XIII.1. *Tipos de cultura tecnológica*

<i>Componentes de la cultura tecnológica</i>	<i>Tipos de cultura tecnológica</i>		
		<i>Genérica</i>	<i>Específica</i>
Información representacional (creencias, conocimientos)	Incorporada	Conocimientos científicos aplicados y tecnologías genéricas o básicas	Tecnologías específicas
	No incorporada	Ciencias básicas, visión racional del mundo	Alfabetización científica y tecnológica en áreas determinadas
Información práctica (hábitos y reglas de comportamiento)	Incorporada	Cultura del trabajo bien hecho	Dominio de habilidades técnicas específicas
	No incorporada	Hábitos o reglas de comportamiento racional	Hábitos o reglas de comportamiento racional en áreas específicas
Información valorativa (fines, valores, actitudes)	Incorporada	Valores de eficiencia práctica, fiabilidad tecnológica, control del medio, etcétera	Objetivos o fines propios de determinadas tecnologías
	No incorporada	Actitudes ante valores como creatividad, utilidad, bienestar material, riesgo, etcétera	Actitudes ante tecnologías específicas (nuclear, genética, médica, etcétera)

de desarrollo tecnológico en la que proliferan las innovaciones) y el carácter integrable (composicional o intersticial) de muchas tecnologías (una innovación producida en un sector de la economía puede fertilizar otros muchos sectores, dando lugar a más innovaciones). Ahora bien, es evidente que no basta con poder innovar, es preciso además querer, es decir, procurar efectivamente usar las propias capacidades para producir nuevas innovaciones. Esto es lo que significa la “propensión” a innovar.

Naturalmente, tanto la capacidad como la propensión a innovar dependen de muchos factores. A lo largo de la historia de la humanidad se puede observar, por ejemplo, cómo las situaciones de presión extrema, como las que se producen en una guerra o en una crisis sanitaria, etc., con frecuencia contribuyen a incrementar la propensión a innovar y a veces incluso a mejorar las capacidades de innovación. Puede suceder que un grupo disponga de determinada tecnología, pero no de los medios materiales para iniciar el proceso de innovación, de manera que un cambio en la situación económica puede tener efectos sobre la capacidad efectiva de innovación o sobre la propensión a innovar (variando el umbral de riesgo que el grupo está dispuesto a asumir, por ejemplo).

Pero lo que a nosotros nos interesa señalar es que, dejando al margen otros factores que puedan ser relevantes, tanto la capacidad como la propensión a innovar dependen directamente de factores culturales. Esto es lo que concretamos en las hipótesis segunda y tercera.

La segunda hipótesis, en efecto, hace depender la capacidad tecnológica de las tecnologías disponibles e identifica éstas como la cultura tecnológica incorporada propia del grupo social en cuestión. Esto quiere decir que para que podamos considerar que una tecnología forma parte del repertorio de capacidades tecnológicas de un grupo social no basta con que el grupo posea o disponga de los sistemas tecnológicos basados en esa tecnología (no le basta con adquirir la maquinaria o los equipos basados en esa tecnología, por ejemplo), sino que es preciso que la cultura tecnológica del grupo se vea realmente ampliada con los contenidos culturales incorporados a esos equipos. Éstos son, como sabemos, por una parte y principalmente, las tecnologías correspondientes (los conocimientos tecnológicos que se han usado para diseñar, fabricar, etc., esos equipos o sistemas técnicos), pero también otros componentes culturales como las reglas de operación, los valores incorporados a esos sistemas, etc. Si se pudiera distinguir entre el *nivel de disponibilidad* de sistemas técnicos y el *nivel de asimilación cultural* de esos sistemas, lo que dice nuestra hipótesis segunda es que las capacidades tecnológicas de un grupo social (de una empresa, por ejemplo) residen en esto último,

no en lo primero. Una empresa puede adquirir la más avanzada tecnología, pero eso no aumentará mucho su capacidad tecnológica para la innovación si no logra integrar adecuadamente esa tecnología en la cultura (conocimientos, hábitos y valores) de la empresa. Eso es lo que significa nuestra segunda hipótesis.

La tercera hipótesis es, si cabe, más intuitiva. Hace depender la propensión a innovar de determinadas representaciones, actitudes y valores compartidos por los miembros del grupo, actitudes y valores que corresponden a lo que hemos denominado cultura tecnológica no incorporada. El problema aquí reside en identificar cuáles son esas actitudes y valores y cómo influyen positiva o negativamente en la propensión a innovar. Un ejemplo notable podría ser la *disposición a asumir riesgos*. Parece evidente que por debajo de determinado umbral de riesgo la propensión a innovar prácticamente desaparece: el innovador debe saber convivir con la incertidumbre y ser capaz de asumir el riesgo de fracasar. Sin embargo, por encima de determinado umbral de riesgo es posible que el esfuerzo racional por encontrar soluciones prácticas y eficientes mediante la tecnología también tienda a disminuir: si nos importa poco fracasar (porque valoramos poco lo que podemos perder, en caso de fracaso) tendremos mejor predisposición a embarcarnos en aventuras alocadas, pero no es probable que de ellas surjan innovaciones tecnológicas fiables y eficientes. Hay así algunas actitudes y valores que son especialmente relevantes para caracterizar la propensión a innovar. Por ejemplo estas cuatro: actitud ante el *trabajo bien hecho* (es decir, valoración de la acción eficiente), valoración de la *creatividad*, *confianza* en la ciencia y la tecnología como medio para resolver problemas prácticos o para generar riqueza y bienestar, actitud ante la *incertidumbre* o predisposición a la *asunción de riesgos* (Bravo, 2004).

XIV. EDUCACIÓN Y CULTURA TECNOLÓGICA

HACE unos años escribí un breve artículo sobre la educación, la tecnología y la formación de los educadores.¹ En él defendía una tesis que creía casi evidente: la educación hay que verla como una tecnología social y, por lo tanto, hay que formar a los educadores como se forma a un tecnólogo. El cuerpo del artículo consistía en una argumentación en favor de una concepción racional y crítica (no dogmática ni escéptica) de la tecnología social, como una forma de actuar sobre la realidad guiada por conocimientos científicos y sistemas de valores racionales. La última parte era una propuesta acerca de los contenidos básicos que debería tener el *currículum* de un educador para que su formación fuera coherente con su función. Sigo pensando que aquellas ideas son, en lo fundamental, casi triviales, aunque cuando las expuse por primera vez tenían la apariencia de cierta radicalidad. Posteriormente se ha producido un auge de publicaciones y ensayos sobre lo que ha dado en llamarse *modelo tecnológico* de la educación (que suele contraponerse a lo que podríamos llamar *modelo humanístico*) e incluso se ha producido alguna polémica al respecto, no exenta de interés.

Ésta puede ser una excelente ocasión² para extender, en el mismo plano de reflexión teórica, la discusión iniciada hace 11 años con algunos de mis colegas, en torno a la vigencia y la significación de lo que aceptaré llamar modelo tecnológico de la educación. El interés del tema es ahora mayor porque una de las diferencias de nuestra situación actual respecto a la que vivíamos hace unos años es que ahora somos más conscientes de que la tecnología no sólo puede ser un modelo para la intervención educativa, sino que es además un componente central de la cultura de nuestra sociedad.

¹ Quintanilla (1980b).

² El origen de este texto es la ponencia de clausura que presentó el autor en el X Congreso Nacional de Pedagogía, Salamanca, 3 de octubre de 1992 [MAQ: 2005].

1. DIVERSIDAD CULTURAL Y CULTURA TECNOLÓGICA

Por cultura entiendo el conjunto de representaciones, reglas de conducta, ideas, valores, formas de comunicación y pautas de comportamiento aprendidas (no innatas) que caracterizan a un grupo social. Todo grupo de seres vivos dotados de sistema nervioso plástico (es decir, capaz de innovar y de aprender), cuyos componentes interactúan entre sí con cierta frecuencia, se caracteriza porque sus miembros comparten cierta cultura, es decir, algunas representaciones, preferencias, reglas de acción, formas de comunicación y de comportamiento. En el caso de grupos humanos evolucionados, hablamos además de ideas y valores. Por ideas entiendo determinados conjuntos o sistemas de representaciones de carácter general, que a veces incluyen representaciones de segundo orden (representaciones de representaciones). En cuanto a los valores, en este contexto los consideraremos como sistemas de preferencias y reglas e ideas acerca de reglas para la acción. Lo más característico de las culturas de los grupos humanos es precisamente la presencia de estas ideas y valores, así como la existencia de lenguajes articulados como instrumento de comunicación (sin los cuales parece difícil imaginar cómo se podrían generar ideas y valores).

La identificación de los rasgos culturales característicos de un grupo humano suele ser un ejercicio intelectual muy apreciado, no sólo por antropólogos y filósofos sociales, sino también por demagogos, ideólogos y expertos en publicidad. Para la filosofía de la educación el tema también tiene interés. En cierto modo educar a un individuo, que por alguna razón (biológica, generalmente, pero también económica, geográfica, etc.) va a integrarse en un grupo social, consiste en entrenarlo para que pueda compartir la cultura del grupo. Para ello se requiere identificar los rasgos característicos de esa cultura compartida (lengua, reglas de comportamiento, etc.) que se consideran relevantes. Y este proceso suele ir acompañado de racionalizaciones de segundo orden (ideas y valores) que persiguen acotar el sistema cultural necesario para la identificación del grupo.

Uno de los problemas que surgen cuando se acomete este ejercicio intelectual de identificación de la cultura de un grupo es la inmediata tensión que se produce entre identidad y diversidad cultural. De hecho, se puede aceptar como bastante plausible la siguiente afirmación: cualquier grupo humano, suficientemente numeroso, que comparta cierta cultura, se puede dividir en varios subgrupos que difieren entre sí por algunos rasgos culturales. La recíproca de esta afirmación también me parece verdadera: dados dos grupos humanos con culturas diferen-

tes se puede formar un grupo que reúna a ambos con una cultura compartida. En otras palabras: *la cultura de un grupo siempre está compuesta de muchas subculturas diferentes y las diferentes culturas de grupos diversos nunca son totalmente disyuntas.*

Así pues, la identidad y la diversidad cultural de los grupos humanos no es un grave problema ontológico, sino más bien empírico y en ocasiones puramente pragmático. En relación con la educación, las ventajas de plantear el tema de la identidad y diversidad cultural en estos términos empíricos y pragmáticos son extraordinarias. Por lo general los sistemas educativos se diseñan en nuestros días a una escala suficientemente grande como para que los grupos humanos involucrados en ellos sean numerosos y diversos. Se plantea entonces el problema de delimitar cuáles son los rasgos culturales que identifican al conjunto social para el que se diseña el sistema. Pero ocurre que el proceso educativo es finalmente un proceso dirigido a individuos, en el que se producen situaciones de relación interpersonal complejas y variadas, en las que necesariamente desempeñan un papel las peculiaridades culturales de los diferentes subgrupos a los que cada individuo pertenece. Surge así un problema de equilibrio en todo sistema educativo entre la homogeneidad cultural a la que sirve el sistema y la diversidad cultural de los individuos y grupos en los que el sistema se desenvuelve.

Sin embargo, no es difícil resolver esta inevitable tensión, pero para ello hay que tener en cuenta dos principios. En primer lugar, hay que distinguir los objetivos del sistema de educación formal (es decir, el proceso de aculturación que se lleva a cabo en instituciones especializadas, como son las escuelas) y el resto de los procesos de aculturación que se producen en el entorno social de cada individuo. En las complejas sociedades actuales, en las que un adolescente puede pasar más tiempo ante la pantalla de la televisión que el que pasa en las aulas del colegio, resulta absurdo imaginar que el sistema formal de educación es el único medio de aculturación. Por consiguiente, al diseñar el sistema de educación formal hay que concentrar los esfuerzos en los objetivos que se consideran prioritarios. El segundo principio es que la determinación de un mínimo homogéneo común a todo el sistema educativo de un ámbito social determinado es un requisito ineludible para establecer los objetivos prioritarios del sistema. Esto no significa que los rasgos diferenciales de cada subgrupo social (que pueden dar lugar a objetivos parciales o secundarios de la educación) deban ser olvidados en la práctica educativa, pero sí significa que, en caso de incompatibilidad entre los objetivos prioritarios y otros secundarios, éstos deben quedar subordinados a aquéllos. Por muy duro que parezca este planteamiento, quiero advertir que se trata, por el mo-

mento, de un simple principio formal de racionalidad en el diseño de sistemas. Los problemas morales o de otro tipo no se plantean aquí, sino a la hora de determinar cuáles deben ser los objetivos primarios y cuáles los subordinados.

Llegados a este punto, es preciso que abandonemos la perspectiva puramente analítica que hemos adoptado hasta ahora y abordemos problemas sustantivos y concretos: en las sociedades industriales de nuestros días ¿cuál puede o debe ser el marco cultural mínimo que debería guiar el diseño de nuestros sistemas educativos?

2. EL VALOR DE LA CULTURA TECNOLÓGICA

En contextos académicos se suele entender la expresión “cultura tecnológica” como contrapuesta a “cultura humanística” y a veces como sinónimo o especialización de “cultura científica”. Estas expresiones se refieren en realidad a la cultura que comparten determinados grupos de profesionales: la cultura tecnológica caracterizaría a los ingenieros y a los profesores de las escuelas técnicas, la humanística a los literatos y a los profesores de las facultades de letras, y la cultura científica a los cultivadores de las ciencias experimentales. La referencia a las dos culturas de Snow es aquí un tema obligado. Y desde el punto de vista de la reflexión sobre los objetivos de la educación, todo se reduce a distinguir entre educación (en el sentido aún más restringido de enseñanza) de ciencias o de letras, etcétera.

Sin embargo, en el presente contexto quisiera referirme a la cultura tecnológica de un modo más amplio: como un posible sustrato cultural común a amplios grupos sociales, no como una cultura especializada de un grupo restringido de carácter profesional o académico. Por cultura tecnológica entiendo, pues, la parte de la cultura de un grupo social formada por las representaciones, reglas, ideas, valores, sistemas de comunicación y pautas de comportamiento que tienen que ver con las relaciones de los miembros de ese grupo con los sistemas tecnológicos. En este sentido, cualquier grupo humano que mantenga relaciones con sistemas tecnológicos (incluidos los profesores de letras que usen ordenadores, luz eléctrica o automóvil) tiene cierta cultura tecnológica, que puede ser más o menos amplia, rigurosa o racional, pero que es estrictamente tecnológica.

Pues bien, las tesis que quiero proponer ahora se resumen de la siguiente manera. En primer lugar, creo que la *cultura tecnológica* constituye una parte muy importante de la cultura compartida por cualquier grupo humano en las sociedades industriales avanzadas de nuestro tiempo. En segundo lugar, el que estos grupos

humanos compartan una *adecuada* cultura tecnológica es un factor importante para el bienestar del grupo. En tercer lugar, y como consecuencia de lo anterior, el sustrato homogéneo común que deberíamos plantearnos como objetivo del proceso educativo en estas sociedades avanzadas es precisamente el conseguir una *adecuada cultura tecnológica*.

Enseguida justificaré estas tres afirmaciones o propuestas, pero antes debo recordar, aunque sea brevemente, algunas ideas sobre *sistemas tecnológicos*. Definimos un sistema técnico como un *sistema de acciones intencionalmente orientado a la transformación de objetos concretos para obtener de forma eficiente un resultado que se considera valioso* (TEF, cap. II). Llamamos sistemas tecnológicos a una subclase de sistemas técnicos, propios de las sociedades industriales, que se caracterizan porque su diseño y su uso se basan en *conocimientos y métodos científicos* y en *sistemas de valores y procedimientos de evaluación que pueden considerarse racionales*.

Caracterizar de esta forma los sistemas técnicos y tecnológicos tiene algunas ventajas para el propósito que ahora nos guía. En primer lugar, queda claro que la técnica es inseparable de la cultura: los sistemas intencionales de acciones incluyen conocimientos o representaciones, reglas de acción y pautas de comportamiento (es decir, formas de actuar). Además, si son sistemas tecnológicos, necesariamente incluyen también ideas y criterios racionales de valoración.

Las ideas involucradas en los sistemas tecnológicos son fundamentalmente ideas científicas o al menos compatibles con el conocimiento y con los métodos de representación científica de las cosas. Pero el conocimiento tecnológico incluye también otro tipo de contenidos cognoscitivos no representacionales sino operacionales, que son específicos de todo sistema intencional de acciones y que pueden llegar a alcanzar un grado de racionalización y elaboración muy elevado, por ejemplo: desde los manuales de instrucciones que acompañan a cualquier artefacto técnico hasta los modelos abstractos de técnicas de gestión empresarial.

Los valores tecnológicos son de dos tipos: internos y externos (o si se prefiere: intrínsecos y extrínsecos). El valor intrínseco más importante de la tecnología es el valor de la *eficiencia*. Intuitivamente entendemos que una acción (y por extensión un artefacto, un sistema de acciones, etc.) es eficiente si consigue el máximo de los objetivos que se propone (para los que ha sido diseñado) con el mínimo coste. El problema es que para valorar la eficiencia necesitamos alguna forma de medir los resultados y costes de cualquier acción. Por desgracia, la forma más fácil de hacer esto es mediante el concepto de utilidad, que nos permite comparar el valor o precio que pagamos por lo que hacemos para conseguir algo y el valor o

precio que podemos asignar a lo que conseguimos. Pero la utilidad es un valor subjetivo y resulta contraintuitivo que la eficiencia tecnológica se reduzca finalmente a una relación entre valoraciones subjetivas. La situación no mejora si medimos la utilidad en términos de unidades monetarias o precios, porque éstos dependen de factores de mercado, ajenos también a las características internas de los propios sistemas tecnológicos. Por eso creo que es mejor definir el concepto de eficiencia no como una relación entre valores sino como un valor primitivo que se define en función de la magnitud de los objetivos y de los resultados que se obtienen de una acción. Suponiendo que los objetivos de una acción consistan en una transformación efectiva de una situación dada, la eficiencia máxima se alcanza cuando, como resultado de la acción, se alcanzan todos y sólo los objetivos que se proponen. Los otros dos valores tecnológicos intrínsecos más importantes (la *eficacia* y la *fiabilidad* de un sistema) se relacionan con el de eficiencia de forma muy simple: la eficacia depende del grado de inclusión de los objetivos pretendidos en los resultados realmente obtenidos y la fiabilidad depende de la permanencia de la eficiencia y de la eficacia a lo largo del tiempo.

Además de los valores intrínsecos, los sistemas tecnológicos incorporan valores que podemos denominar extrínsecos, pero que tienen tanta importancia para la caracterización y el diseño de un sistema tecnológico como los intrínsecos. A diferencia de éstos, los valores extrínsecos se refieren tanto a los sistemas tecnológicos como a los sujetos o grupos que los usan, los desarrollan, etc. Se pueden dividir en dos grupos: valores relativos a la *idoneidad* (económica, moral, política, etc.) de una tecnología para un grupo social y valores relativos a las *consecuencias* de una tecnología, bien sea para los individuos (riesgo, seguridad, etc.), bien para el entorno natural (valor de impacto ambiental), o bien para la estructura social (valor de impacto social).

Pues bien, creo que tenemos aquí un buen grupo de elementos culturales que acompañan a la difusión de los sistemas tecnológicos: formas de representación y de conocimiento operacional, ideas científicas, valores tecnológicos como la eficiencia y valores sociales como la idoneidad, la seguridad, etc. Estos contenidos culturales de la tecnología se pueden incorporar a la cultura de un grupo social de muchas formas diferentes. Por ejemplo, una cultura tecnológica economicista se caracteriza porque da poca relevancia a los valores intrínsecos de la tecnología y mucha a una versión puramente económica del valor extrínseco de idoneidad (económica). En esa cultura se valorará sumamente cualquier innovación tecnológica que reporte beneficios económicos al grupo. Una cultura tecnológica conservacionista dará prioridad a las tecnologías que permitan conservar inalterado

el ambiente, etc., etc. Lo mismo cabe decir respecto a los contenidos cognoscitivos de los sistemas tecnológicos: puede darse más importancia a los conocimientos científicos que a los operacionales, a determinado tipo de tecnologías (físicas, químicas, etc.) que a otras (biológicas, sociales, informacionales, etc.). Lo peculiar de las sociedades industriales avanzadas de nuestro tiempo, en cualquier caso, es que los diferentes componentes de la cultura tecnológica, con una u otra modulación, forman un sustrato común, que subyace a las diferencias culturales, y que este sustrato común tiene una importancia cada vez mayor para todos los grupos, más allá de las diferencias existentes entre ellos.

Lo que acabo de decir pretende ser una proposición empírica, aunque soy consciente de que está formulada en términos poco precisos. Pero, a efectos de la presente argumentación, no creo que sea necesario entrar en más precisiones. Basta con que nos pongamos de acuerdo en algunos datos bastante elementales. Tomemos como marco de referencia los países de la Unión Europea. En ellos se hablan diferentes idiomas, se mantienen tradiciones diversas y se educa a los niños transmitiéndoles ideas y representaciones (de la historia, por ejemplo) no siempre coincidentes. Sin embargo, en relación con la tecnología se produce una extraordinaria homogeneidad: en primer lugar, todos los grupos comparten prácticamente los mismos sistemas tecnológicos; en segundo lugar, todos tienen acceso a esos sistemas de una forma intensa y generalizada, de manera que, por ejemplo, una buena parte de la actividad cotidiana de los individuos que componen esos diferentes grupos sociales se lleva a cabo en relación con artefactos tecnológicos. Por consiguiente, es plausible suponer que la cultura tecnológica tiene un papel importante en todos esos grupos sociales, y constituye así una base aceptable para definir ese sustrato común que puede servirnos para determinar los objetivos de la educación.

Hemos dicho, sin embargo, que puede haber diferencias notables entre culturas tecnológicas. Por eso, a efecto de la determinación de los objetivos de la educación, no basta con señalar la importancia que los componentes de la cultura tecnológica deben tener en todo proceso educativo. Es preciso pasar al plano normativo y plantear qué tipo de cultura tecnológica es la más adecuada.

No es fácil dar una respuesta a esta pregunta, porque la respuesta que se dé puede estar sesgada por otros componentes culturales ajenos a la propia cultura tecnológica. Por ejemplo, alguien que, por algún tipo de motivos de carácter moral, político o religioso, desee que se detenga el desarrollo tecnológico, podría estar interesado en promover una cultura tecnológica basada en la ignorancia de la ciencia, en el desprecio a la eficiencia y en la exaltación de la irracionalidad. En

semejante contexto cultural lo más probable es que los individuos de esa sociedad sean poco capaces de crear innovaciones tecnológicas, se contenten con utilizar tecnologías poco eficientes y valoren las tecnologías disponibles con criterios inconsistentes o simplemente guiados por factores irracionales como las modas, la publicidad o el miedo a lo desconocido. En el caso extremo contrario, un tecnócrata podría estar interesado en promover un tipo de cultura tecnológica en el que predominan exclusivamente los valores de eficiencia intrínseca frente a los valores extrínsecos, o los contenidos cognoscitivos puramente operacionales y concretos frente a los contenidos científicos, etcétera.

La cuestión es si se puede establecer y justificar algún criterio de carácter normativo que permita discriminar entre diferentes modulaciones de la cultura tecnológica. Mi opinión es que sí, siempre que aceptemos como premisas que el desarrollo tecnológico es un componente importante del bienestar alcanzable por los miembros de una sociedad y que alcanzar elevados grados de bienestar es un objetivo valioso.

3. BIENESTAR SOCIAL Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

Ortega y Gasset (1939) decía que la técnica libera al hombre de sus necesidades, incluyendo en éstas a las necesidades superfluas que surgen como consecuencia del propio desarrollo tecnológico. No deja de haber aquí una cierta paradoja: ese horizonte artificial que genera la técnica en torno al hombre sirve para liberarlo de la necesidad natural y abrirle un conjunto de nuevas posibilidades creativas, pero al mismo tiempo lo restringe y lo condiciona a tener que resolver los nuevos problemas que la misma tecnología ha generado. Ortega pensaba que estamos ante una propiedad constitutiva de la propia naturaleza humana (el hombre es un ser de proyectos, de posibilidades abiertas). Otra forma menos solemne de decir lo mismo es la siguiente: mediante la innovación técnica logramos transformar la realidad para adaptarla a nuestros deseos; esto nos produce satisfacción, pero al mismo tiempo genera nuevas situaciones ante las que concebimos nuevos deseos que nos impulsan a intentar transformar de nuevo la realidad... hasta el infinito. Es decir, si transformamos el medio en forma suficientemente radical y mantenemos viva nuestra apetencia de bienestar, estamos condenados a mantener abierto el proceso de desarrollo tecnológico. Por el contrario, si decidimos detener el desarrollo tecnológico, terminaremos teniendo que aceptar que nuestros deseos deben adaptarse a la realidad, hasta el límite de renunciar posiblemente a cual-

quier modificación de nuestra situación vital. En otras palabras: el dilema es o desarrollo tecnológico continuo o estancamiento primero y después retroceso en las condiciones de vida hasta perder la propia condición humana (incluida la libertad). Se trata en realidad de una vieja idea que podemos rastrear en el mito de Prometeo o en el del Paraíso Perdido (París, 1973).

Si esto es así, parece plausible pensar que es preferible una cultura que facilite el desarrollo tecnológico. Y teniendo en cuenta lo que acabamos de decir, acerca de la estructura de los sistemas tecnológicos, es fácil trazar los rasgos generales de lo que con todo derecho podemos llamar ya una *adecuada cultura tecnológica*. En primer lugar, debe ser una cultura en la que los conocimientos científicos, los hábitos de pensamiento racional y el dominio de las reglas de operación de los sistemas técnicos ocupen un lugar destacado. Por otra parte, debe ser una cultura en la que se respeten los valores intrínsecos y extrínsecos de la tecnología en forma equilibrada.

En ocasiones se confunde una adecuada cultura tecnológica con versiones más o menos afortunadas que esa cultura ha tenido en el pasado. Por ejemplo, algunos autores confunden sistemáticamente los valores de la cultura tecnológica en el ámbito de las tecnologías sociales con la organización fordista del trabajo en una fábrica. La confusión resulta bastante ridícula hoy, cuando, por motivos precisamente tecnológicos, se considera que el fordismo es una técnica de organización del trabajo bastante ineficiente si se le compara con técnicas flexibles, basadas en la iniciativa individual y en la integración de tareas en células pequeñas.

De hecho, una adecuada cultura tecnológica debe ser una cultura basada en la racionalidad crítica, que valore la creatividad intelectual y práctica, la innovación y la eficiencia, el gusto por el trabajo bien hecho y el aprecio de la libertad para llevar a cabo empresas nuevas de forma racional. En fin, todo un modelo de lo que pueden ser los objetivos ideales para el proceso educativo.

4. EDUCACIÓN TECNOLÓGICA Y TECNOLOGÍA EDUCATIVA

Lo diré una vez más, pero usando ahora una expresión más contundente: creo que el sustrato común y homogéneo que debe servir para definir los objetivos generales del proceso educativo en las sociedades industrialmente avanzadas de nuestro tiempo es esto que hemos llamado una cultura tecnológica adecuada. Tal como la hemos definido, la homogeneidad de la cultura tecnológica no se contrapone radicalmente a otros componentes diferenciales de las culturas de cada gru-

po social: se trata simplemente de enfocar los objetivos de la educación hacia una parte que es cada vez más importante para cualquier grupo social en nuestros días y hacerlo de tal manera que facilite el desarrollo tecnológico. Sobre esta base común caben múltiples variaciones que respondan a otras diferencias culturales: poco importa que en un grupo social una parte de la educación se fije como objetivo esencial el desarrollo de la propia lengua nacional o el conocimiento de la historia de la aldea en que viven los educandos. Sin duda son aspectos interesantes y complementarios del proceso educativo, en el que, como ya dijimos, tratamos con individuos concretos que, además de compartir una determinada cultura tecnológica, se diferencian entre sí por muchos otros rasgos culturales. El problema es si estos objetivos secundarios de la educación son compatibles con el objetivo homogéneo común. No siempre será así. Por ejemplo, el nacionalismo exacerbado cuadra mal con las exigencias de una cultura tecnológica adecuada, en una época en que las tecnologías han disuelto las barreras tradicionales entre las naciones. Una determinada educación moral basada en prejuicios y tabúes puede constituir un serio obstáculo para evaluar racionalmente las consecuencias sociales y humanas del desarrollo tecnológico. Y en general, una cultura dogmática y autoritaria puede ahogar el espíritu de investigación y de innovación que es inherente a una adecuada cultura tecnológica. En todos estos casos el objetivo homogéneo de la educación debe servir como criterio para sopesar el papel de las diferenciaciones culturales como objetivos complementarios de la educación, y no a la inversa, como tantas veces sucede.

Por último, sólo unas palabras acerca de la otra cara de la vieja moneda: la naturaleza tecnológica del propio proceso educativo. La educación tiene, como hemos dicho, dos dimensiones: desde el punto de vista de los sujetos de la educación, se trata de un proceso psicosocial de aprendizaje; desde el punto de vista del diseño de los sistemas institucionales de educación (los sistemas de enseñanza), se trata de un problema de ingeniería social. Cada uno de estos dos aspectos de la problemática educativa puede ser abordado en una forma coherente con una adecuada cultura tecnológica. Para terminar, expresaré tan sólo un deseo (de esos que a veces constituyen la fuente de las innovaciones técnicas): ojalá el diseño del sistema de formación de educadores ayude a formar buenos técnicos, capaces de conducir con eficiencia los procesos psicopedagógicos de la educación y de diseñar y gestionar de forma eficiente los sistemas institucionales de enseñanza.

XV. INTEGRACIÓN CULTURAL E INNOVACIÓN TÉCNICA

(Una lección de la historia de España en la Edad Moderna)

Es un privilegio para mí poder dirigirles unas palabras en esta ocasión y en este marco admirable.¹ Y sobre todo es un privilegio que los organizadores me hayan dado libertad para hablar de lo que yo quiera, sin obligarme a transitar por los áridos territorios de la gestión de la tecnología. Supongo que mi principal obligación es ahora ayudarles a disfrutar de esta estupenda cena completándola con algún condimento orientado al deleite intelectual más que al estrictamente gastronómico. Espero en todo caso que el condimento que les he preparado les resulte suave y fácilmente digerible.

Yo he nacido a pocos kilómetros de aquí, en Segovia, otra ciudad castellana parecida a ésta en la que estamos y que les recomiendo vivamente que visiten si tienen oportunidad. Además, hice casi toda mi carrera en Salamanca, también una vieja ciudad que alberga una de las universidades más antiguas de Europa, en la que actualmente enseño. Ávila se encuentra a mitad de camino entre Segovia y Salamanca, así que durante varios años en mi juventud he estado pasando por aquí, cada vez que empezaba un curso o que llegaban unas vacaciones. Siempre me ha impresionado la estampa de esta ciudad, ceñida por su antigua muralla y sembrada de iglesias, monasterios y palacios. Pero en aquellos años, ya bastante lejanos, por desgracia, jamás se me hubiera ocurrido pensar en Ávila como sede de una conferencia internacional sobre gestión de I+D y estrategias tecnológicas. Ávila para mí, como para la mayoría de los españoles, siempre ha sido la cuna de santa Teresa, la escritora, reformadora y mística española del siglo XVI. Sé que esta imagen es parcial e injusta, porque Ávila es hoy una ciudad dinámica y moderna, con centros universitarios de carácter tecnológico y con creciente dinamismo empresarial. Pero las piedras son condensadores de la historia y es casi imposible contemplar los sillares de la muralla de Ávila o de sus conventos sin pensar en los avatares de la cultura de Castilla en la Edad Moderna, la Edad de Oro de las letras españolas o quizá la Edad de las Tinieblas...

¹ Se trata del texto leído en la cena-coloquio que se celebró como parte de las actividades de la R&D Management Conference (Ávila, 30 de septiembre a 2 de octubre de 1998) organizada por la Fundación Cotec y la Fundación Telefónica I+D de España.

Pero lo que no es posible evitar no debe ser evitado. Así que será mejor que aceptemos que aquí hay que hablar de Teresa de Ávila y de la mística española, y que renunciemos a la inútil pretensión de entrar directamente en cuestiones de gestión de la tecnología, como si diera igual estar hablando durante una cena en Ávila que hacerlo en una sala de reuniones de la sede de Telefónica I+D en un moderno edificio de Madrid. De todas formas, como espero que puedan comprobar si resisten hasta el final de mi discurso, la reflexión sobre la experiencia histórica española de los siglos XVI y XVII puede no ser del todo inútil para afrontar algunos problemas de la tecnología en la sociedad actual.

En realidad la reflexión general sobre la cultura de los pueblos en sus más variadas manifestaciones nunca debería estar ausente de nuestras reflexiones y estudios sobre la gestión de la ciencia y la tecnología. Como todos sabemos, la mayoría de los historiadores, sociólogos e incluso economistas que se ocupan en estos temas son muy conscientes, en la actualidad, de la complejidad de la tecnología y de las múltiples dimensiones cognitivas, económicas y sociales que presentan los sistemas técnicos. Sin embargo, no siempre somos plenamente coherentes cuando intentamos extraer las consecuencias prácticas de nuestros elaborados modelos teóricos. Nuestras recetas para la gestión de la tecnología se centran casi exclusivamente en su dimensión económica. A lo sumo, a veces logramos abarcar también los aspectos organizativos involucrados en la gestión de las innovaciones tecnológicas. Pero rara vez prestamos la debida atención a lo que llamaré los aspectos o dimensiones *culturales* de la tecnología. Permítanme que me detenga un momento en este punto, antes de retomar el hilo de santa Teresa y la cultura española de la Edad Moderna.

Voy a referirme brevemente a algunos resultados de un trabajo que hemos realizado para Cotec sobre estos temas. El objetivo de este trabajo es precisamente encontrar sistemas de representación y medición de la cultura tecnológica que puedan servir de base para la toma de decisiones. Una de las ideas que consideramos que puede ser fructífera consiste en distinguir claramente dos tipos de contenidos diferentes en lo que se suele considerar como la “cultura tecnológica” de un país, una institución o un grupo social. Los denominamos “cultura tecnológica incorporada a sistemas técnicos” y “cultura tecnológica no incorporada a sistemas técnicos”. La cultura tecnológica incorporada a un sistema técnico está formada por el conjunto de creencias o conocimientos, hábitos y valores que los operadores de un sistema técnico necesitan tener para que éste funcione en forma adecuada. La cultura tecnológica de un grupo social (un país, una empresa, etc.) en sentido estricto o restringido se puede definir como el conjunto de todos

los rasgos culturales incorporados a los sistemas técnicos de que dispone: incluye por lo tanto el nivel de formación y entrenamiento de sus miembros en el uso o diseño de esas tecnologías, pero también la asimilación de los objetivos de esas tecnologías como valores deseables, etcétera.

La cultura tecnológica no incorporada a sistemas técnicos está formada por el conjunto de rasgos culturales que se refieren o se relacionan con la tecnología, pero que no están incorporados a sistemas técnicos concretos, bien sea porque no son compatibles con las tecnologías disponibles, o porque no son necesarios para ellas, etc. Por ejemplo, un buen conductor de automóviles necesita determinados conocimientos sobre la mecánica del automóvil, cierto nivel de entrenamiento en la práctica de conducir y cierta interiorización de valores que representan las normas de tráfico (respetar la prioridad en los cruces, etc.). Todo esto constituye una parte de la *cultura incorporada* a la tecnología del automóvil de nuestros días. Pero además de eso, el conductor puede tener determinadas creencias (acertadas o no) sobre el efecto contaminante de los motores de combustión interna, puede tener ciertas pautas de comportamiento en relación con el transporte individual y determinados valores que atañen a la necesidad de preservar de la contaminación el centro histórico de las ciudades. Todos estos rasgos forman parte de una *cultura tecnológica* en la medida en que afectan al uso, diseño y difusión de determinadas tecnologías, pero pueden no estar incorporados, por el momento, a ningún sistema técnico concreto.

Creo que esta distinción entre cultura tecnológica en sentido restringido (es decir, el conjunto de rasgos culturales incorporados a los sistemas técnicos de que dispone la sociedad) y en sentido amplio (es decir, el conjunto de rasgos culturales relevantes para la tecnología, pero no incorporados a sistemas técnicos) es muy importante, no sólo desde el punto de vista teórico sino también práctico.

Por ejemplo, la incorporación de una nueva tecnología de producción puede fracasar si el personal de la empresa que tiene que utilizarla no tiene la preparación técnica adecuada. En este caso, estamos ante un problema de cultura tecnológica en sentido restringido. Pero también puede fracasar porque los trabajadores la perciban como una amenaza para sus puestos de trabajo, o como una “moda extranjera”, o como una técnica humillante para ellos, etc. En estos casos nos enfrentamos a factores culturales del segundo tipo, con significación tecnológica pero no necesariamente incorporados a ningún sistema técnico concreto.

Algunos fenómenos característicos de la historia de la tecnología se pueden explicar como una consecuencia de la interacción entre estos dos tipos de cultura tecnológica. La aparición de grandes innovaciones tecnológicas suele ir acompa-

ñada por la incorporación de nuevos rasgos culturales (aplicación de conocimientos disponibles, objetivos sociales que se transforman en objetivos técnicos, etc.). A su vez, la difusión de las innovaciones suele ir acompañada por la difusión de transformaciones de la cultura tecnológica en sentido amplio (nuevas costumbres y valores, cambios en las pautas de comportamiento, aparición de nuevas creencias, etc.). En principio, no existe una correspondencia estricta entre los dos tipos de cultura tecnológica, pero creo que sí hay cierta interdependencia parcial. Una misma configuración de cultura tecnológica en sentido restringido es compatible con varias configuraciones de cultura tecnológica en sentido amplio, pero no todas ellas son igualmente benéficas para el desarrollo tecnológico.

Bueno, creo que ya podemos volver a santa Teresa. Uno de los motivos que nos han llevado a estudiar el complejo mundo de la cultura tecnológica es el deseo de comprender algunos rasgos peculiares de la situación de la innovación tecnológica en España. Y esto nos remite de nuevo a la historia.

Como seguramente todos ustedes saben, hace ya 100 años se produjo una profunda crisis cultural en España como consecuencia de la derrota en la guerra de Cuba. En torno a esa época cristalizó un profundo movimiento intelectual y literario, la generación del 98, que ha tenido gran influencia en la primera mitad del siglo xx. No todos los intelectuales del 98 y sus sucesores reaccionaron de la misma forma ante los acontecimientos. Pero muchos de ellos, y bastantes de los políticos reformistas de la época, coincidían en que el problema de España era su integración en Europa y en identificar la cultura europea con la ciencia y la tecnología modernas:² “Europa igual a ciencia; todo lo demás le es común con el resto del planeta”, decía Ortega y Gasset resumiendo el sentir de toda una generación. Y todos ellos coincidían también en la preocupación por entender lo específico de la cultura española, la significación de mitos típicamente españoles, como el del Quijote, etc., en relación y en contraste con la cultura europea moderna.

Curiosamente, debe advertirse que el primer tercio del siglo xx en el que se produce esta crisis de lo que podríamos llamar la cultura científico-tecnológica española en sentido amplio (percepción de la ciencia y la tecnología, de la cultura

² En ese mismo año un diputado de las Cortes, nacido en Zamora (otra pequeña ciudad castellana), seguidor del reformista Joaquín Costa, publicó una traducción al castellano de un libro publicado en Francia el año anterior con el título *À quoi tient la supériorité des Anglo-saxons*, al que puso un prólogo titulado “Problemas de España”. En un reciente libro, Morón Arroyo (1996) recupera éste y otros testimonios para trazar un retrato de la percepción que muchos intelectuales tenían de los problemas de España en aquel momento y resume la situación en estos términos: “La guerra con los Estados Unidos desencadenó en España una actitud de admiración por el progreso espiritual y material de aquel país” (p. 62).

científica de otros países, etc.), es también uno de los momentos de mayor esplendor de la cultura científica y tecnológica española en sentido estricto: se crea la Junta para la Ampliación de Estudios, Ramón y Cajal recibe el premio Nobel, el ingeniero Torres Quevedo alcanza notoriedad internacional, etc. No es algo que se pueda demostrar, pero yo estoy convencido de que hubo una estrecha relación entre el renacer de la ciencia en España en el primer tercio del siglo xx y ese movimiento de reacción y reflexión crítica europeísta de muchos intelectuales que reivindicaron una cultura científica.

Aquella primavera de la cultura científica y el europeísmo español de principios de siglo se vio frustrada por los acontecimientos políticos posteriores que condujeron a la guerra civil. Después de la derrota de la República, muchos intelectuales, desde el exilio, y poco a poco también desde el interior, continuaron la reflexión sobre la identidad y la cultura de España y de Europa, generalmente con más amargura y pesimismo que al principio. En este contexto hay que situar la obra de uno de nuestros más célebres exiliados, el historiador y filólogo Américo Castro, que en 1948, con la publicación de *España en su historia*, propuso una nueva interpretación sobre la identidad histórica y cultural de España que levantó un gran revuelo. En esencia, la tesis de Américo Castro consiste en señalar que la identidad histórica de España está determinada no por su historia como país europeo, sino por la integración de tres culturas durante la Edad Media —la cultura cristiana, la hebrea y la musulmana— y por la ruptura de esa integración cultural en la Edad Moderna que hace que España se aleje, durante los siglos xvi y xvii, de la corriente principal de la cultura europea.

Es posible que muchas de las tesis de Américo Castro sean exageraciones sin fundamento empírico.³ Pero no cabe duda de que han tenido la virtud de señalar algunos aspectos de la historia cultural, social y política de nuestro país, que hasta entonces habían permanecido desconocidos. Especialmente significativo es todo lo que se refiere al papel de los judíos conversos en la cultura española del seiscientos y el setecientos.

Según este autor, durante muchos siglos en la mayoría de las ciudades españolas convivieron los cristianos, los judíos y los musulmanes en una forma pacífica y fructífera. Sólo a finales del siglo xiv empezó a haber una fuerte presión de algunos reyes y clérigos contra las poblaciones judía y musulmana. En el caso de los judíos la ruptura definitiva se produjo con su expulsión por parte

³ Eugenio Asensio (1992): *La España imaginada de Américo Castro* constituye un duro y documentado alegato contra las tesis principales de Américo Castro.

de los Reyes Católicos en 1492. Lo mismo ocurrió más de un siglo después con los musulmanes (moriscos) que se vieron obligados a convertirse o a abandonar el país.

Esta presión político religiosa tuvo efectos perversos para el desarrollo de nuestra cultura. La mayoría de la población judía tenía un elevado nivel cultural y ejercían influencia en las esferas de la administración, la economía, la medicina, etc. Muchos de ellos se exiliaron y dieron lugar a la comunidad judía sefardí que todavía pervive dispersa por muchos países. Pero otros muchos optaron por la conversión, de manera que ellos y sus descendientes pudieron seguir ejerciendo las mismas actividades y teniendo la misma influencia, ampliándola incluso a la propia Iglesia católica. Pero esto produjo una división de la sociedad española en dos grandes sectores, el de los “cristianos viejos” o cristianos de toda la vida, generalmente más pobres y más incultos y vinculados a la nobleza tradicional, y el de los cristianos nuevos o conversos. Una buena parte de la vida social y cultural se asentaba sobre la desconfianza hacia los conversos y sus descendientes, de manera que se impusieron prácticas como los expedientes de “pureza de sangre” como requisitos para acceder a cargos de la administración civil o eclesiástica. No bastaba con ser cristiano, había que demostrar además que tus ascendientes también lo eran.

Estas prácticas tuvieron consecuencias funestas. Una anécdota puede ser ilustrativa. Un ilustre colega profesor de la Universidad de Salamanca en el siglo XVI, don Sebastián Martínez Cantalapiedra, fue procesado por la Inquisición al mismo tiempo que fray Luis de León. En el proceso los inquisidores intentaban descubrir orígenes hebreos en sus antepasados, puesto que esto se consideraba un indicio muy valioso para sospechar de su heterodoxia doctrinal.⁴ Y como testimonio en su contra se aduce el de un testigo que afirmó en el proceso que “Sebastián Martínez y sus hermanos... venían de conversos, según eran de agudos [eran descendientes de conversos, puesto que eran muy cultos e inteligentes]”. Es decir, como señala Araya (1992) comentando esta anécdota, “el saber se transformaba en símbolo del judaísmo” (p. 164). O en palabras del propio Américo Castro: “La ignorancia era la mejor garantía exhibible ante los ojos del Santo Oficio y de la opinión”.⁵

⁴ Para poder equiparar su situación a la de los otros procesados, Grajal y fray Luis, sobre los que el inquisidor Diego González argumentaba literalmente que “siendo notorio que Grajal y fray Luis eran cristianos nuevos [es decir, descendientes de conversos] tenían que estar interesados en oscurecer nuestra fe católica y en volver a su ley”. Véase Araya (1992), p. 165.

⁵ Nuestro ilustre filólogo afila a veces cruelmente su ironía, como en el siguiente párrafo de su obra *The Spaniards. An Introduction to their History*: “El ideal era que el antepasado de un consejero de Su

Muchos de los grandes autores clásicos de la Edad de Oro española, en el campo de las artes, las letras, las ciencias, la política e incluso en el campo de la religión y de la teología, tenían entre sus antepasados algún converso. El propio Torquemada, el gran inquisidor, era descendiente de conversos, como lo eran al parecer Cervantes, fray Luis de León y sobre todo los grandes místicos españoles, Teresa de Ávila y Juan de la Cruz. Volvamos a Teresa de Ávila, que es por la que habíamos empezado. Es considerada en la historia de la literatura como una gran escritora mística y en la historia de la religión como una reformadora de las órdenes religiosas. Pero desde una perspectiva más amplia podríamos considerarla el prototipo de mujer emprendedora e innovadora social. Fundar una nueva orden religiosa en aquella época de sospechas, recelos y denuncias, escribir con libertad rozando los límites de la ortodoxia, pelear dentro y fuera de los límites de la propia Iglesia católica con sus antecedentes familiares a cuestas, no debió ser tarea fácil para aquella mujer. Por si fuera poco, en una sociedad que despreciaba el saber y las “artes mecánicas”, que se enorgullecía de la ignorancia y que consideraba la nobleza incompatible con el trabajo manual, Teresa de Ávila recomendaba a sus monjas que se ganaran la vida con su propio trabajo y ponía en el escudo de su orden religiosa reformada e inspirada por la mística un símbolo de las tecnologías productivas de la época, una rueda de hilar.

Yo creo que Teresa de Ávila es un símbolo dramático del destino de la cultura española de aquel tiempo. España entonces era el centro de un imperio que se extendía por todo el mundo. Y no era posible conseguir y mantener tal imperio sin un dominio adecuado de las técnicas más avanzadas en relación con la navegación, la cartografía, la agricultura, la minería, el urbanismo, el derecho, la organización social, etc. Digamos, para utilizar la terminología antes esbozada, que desde el punto de vista de la cultura tecnológica incorporada hay que suponer que los españoles de aquel tiempo debían estar bastante avanzados, de lo contrario no hubieran podido hacer lo que hicieron. Pero la mayoría de los protagonistas de la cultura y de la tecnología de la época provenían de grupos oficialmente proscritos, como los conversos del judaísmo o del islam. De manera que debían tener bastantes dificultades para elaborar, a partir de su experiencia y sus competencias básicas, una cultura científica y tecnológica adecuada en sentido amplio. Pero no tanto —y esto es lo que quisiera señalar— por culpa de las persecuciones religiosas y de las condenas explícitas de las doc-

trinas heréticas, sino a través de un mecanismo mucho más sutil y mucho más cruel, el mecanismo de la autocensura. En concreto, mi hipótesis es que el clima cultural de la sospecha por la pureza de sangre pudo contribuir decisivamente a que se produjera una disociación entre las capacidades científicas y técnicas disponibles en la sociedad española y la elaboración cultural de esas capacidades en un sentido reflexivo para construir una cultura tecnológica y científica moderna.

Teresa de Ávila era una emprendedora moderna y una gran escritora, pero no podía escribir sino en clave religiosa y mística porque en la cultura de su época las competencias básicas que constituían su principal capital humano (su capacidad de organización, su habilidad literaria, su sensibilidad social y humana) no podían considerarse valiosas por sí mismas. Eran más bien competencias propias de “conversos”.

España en los siglos XVI y XVII nos parece ahora un pueblo de héroes, místicos y artistas. En realidad era un pueblo que colonizaba continentes, organizaba ciudades, administraba imperios, explotaba minas, construía barcos y llenaba de oro los bolsillos de los banqueros europeos... Pero nada de eso era importante ni podía transformarse en formas de pensamiento y de cultura coherentes con esa experiencia histórica. En lugar de ello los españoles, que eran capaces de hacer todo aquello, se tenían que ver a sí mismos como pobres pecadores en busca de la salvación eterna, soldados de Cristo al servicio de la civilización cristiana y abnegados apóstoles del catolicismo. No iban a América a comerciar sino a convertir a los indios, ni construían los mejores galeones de la época para extender su poder, sino para derrotar a los infieles musulmanes, cuya sangre corría a raudales por sus propias venas. Y lo peor es que no podían verse de otra manera porque toda la sociedad de la época se había construido sobre un principio cruel: la renuncia a reconocer la propia identidad de cada uno.

En definitiva, y para ir terminando, yo comparto con los intelectuales del 98 la idea de que la tragedia de España en la Edad Moderna consiste en su ruptura con la cultura de la ciencia y de la tecnología que entonces se estaba fraguando en el resto de Europa. Pero el problema no es que nuestros antepasados no tuvieran acceso a la cultura científica y tecnológica de su época en sentido estricto, a eso que hemos llamado la cultura tecnológica incorporada a los sistemas técnicos. A lo que no tuvieron acceso fue a los elementos culturales que les hubieran permitido integrar la ciencia y la tecnología en una cultura más amplia, coherente con su tiempo y con su experiencia histórica. Y este acceso les fue vedado porque en vez de continuar la tradición de tolerancia y pluralismo cultural de la Edad Me-

dia, decidieron imponer la conversión forzada y con ello la cultura de la sospecha, la hipocresía, el disimulo y la inseguridad. Una cultura seguramente adecuada para dar al mundo místicos y poetas, pero no científicos y filósofos y para lograr el dominio momentáneo de un inmenso poder, pero no para construir un proyecto viable de futuro y progreso a largo plazo.

Supongo que de este somero análisis de nuestra experiencia histórica se pueden extraer algunas consecuencias. En el contexto de esta conferencia quizá pudiéramos señalar la siguiente: la integración de culturas no debe hacerse a la fuerza, ni sobre bases falsas que deformen la realidad y nos impidan tener una adecuada comprensión de la nueva situación que estamos creando. Esto vale tanto para los proyectos históricos de un país como para las alianzas estratégicas de una empresa. El desarrollo tecnológico implica transformaciones culturales profundas, no sólo en el sentido estricto de la cultura que incorporamos con los nuevos sistemas técnicos que desarrollamos, sino también en el sentido amplio, de las nuevas formas de percibir los propios cambios técnicos, su significado, su necesidad, su orientación. Cuando nos enfrentamos a un proceso de este tipo debemos reconocer su alcance y su importancia en toda su amplitud y no debemos empeñarnos en encerrar la nueva realidad en los mismo viejos moldes de la antigua cultura de nuestro grupo o nuestra empresa.

Por suerte hoy estamos lejos de aquellos siglos oscuros de nuestra Edad de Oro literaria. Tan lejos que hasta podemos disfrutar de una estimulante reunión dedicada al análisis de las estrategias tecnológicas, y compartir una cena placentera y relajada, conversando sobre el sentido histórico de unos muros en los que hace más de trescientos años Teresa de Jesús de afanaba por reformar la sociedad de su época y por comprender sus experiencias místicas. Debemos felicitarnos porque hemos tenido mejor suerte que ella, pero debemos también rendir homenaje a la memoria de quien pudo haber sido la primera mujer moderna de España, aunque ella no lo supiera.

XVI. RECETAS PARA HACER REAL OTRO MUNDO POSIBLE*

QUE “otro mundo es posible” es algo en lo que casi todos los críticos de la globalización coinciden. Pero también coinciden en no ponerse de acuerdo acerca de cómo se puede conseguir que ese mundo posible sea real. Esto se debe fundamentalmente a dos razones: 1) la globalización tiene múltiples dimensiones (tecnológica, económica, política, cultural, etc.), pero las alternativas se suelen construir de forma fragmentaria, atendiendo a algunas de ellas, no a todas a la vez; 2) muchos críticos de la globalización suelen presuponer que el “otro mundo posible” es incompatible con la tecnología globalizada, y así se condenan a buscar sus alternativas en escenarios tecnológicos poco realistas.

Si queremos hacer real otro mundo posible, tenemos que empezar indagando qué posibilidades tecnológicas están a nuestra disposición y cómo podemos contribuir a su desarrollo. En este capítulo exploraremos algunas recetas para potenciar unas tecnologías que hagan realizable otro mundo (global) posible.

Dividiré mi exposición en tres partes. Primero argumentaré por qué me parece importante plantear las alternativas al mundo globalizado actual en el plano tecnológico y no sólo en el económico, político o cultural. En segundo lugar, expondré algunos conceptos que me parecen especialmente relevantes en este contexto, como los de alternativa tecnológica, tecnología alternativa y usos alternativos de una tecnología. Por último, propondré algunos ejemplos concretos de alternativas tecnológicas que pueden ayudar a hacer posibles otros mundos o a convertir en realidad algunas posibilidades ya existentes en la actualidad, y terminaré proponiendo algunas recetas para desarrollar la tecnología de manera acorde con esos propósitos.

* Este texto tiene su origen en la ponencia presentada en el II Congreso Iberoamericano de Filosofía (Pontificia Universidad Católica de Perú, Lima, 13 de febrero de 2004). Una primera versión fue incluida en la obra de Diego Lawler y Jesús Vega (eds.), 2009, pp. 95-104. Se incorpora ahora a la presente edición por su relevancia para completar las ideas del cap. IV de esta obra e inaugurar una nueva vía de investigación sobre el modelo de desarrollo tecnológico basado en el concepto de tecnologías entrañables (*engaging technologies*).

1. TECNOLOGÍAS Y FORMAS DE VIDA

Hay dos tipos de críticos de la globalización, que podríamos llamar radicales y moderados, aunque también podríamos llamarlos provincianos y cosmopolitas o localistas y universalistas. Los críticos radicales se caracterizan por rechazar globalmente la globalización y reivindicar formas alternativas de organizar la vida social en espacios restringidos, de carácter local, comunitario, doméstico, etc. Los críticos moderados o universalistas se caracterizan por rechazar lo que podrían llamarse los aspectos negativos de la globalización (básicamente el aumento de la desigualdad) pero aceptando y reivindicando lo esencial, es decir la existencia de un espacio global universal, abierto a todos para el intercambio de ideas, culturas, mercancías y personas. Mientras los críticos radicales son holistas, los moderados son fragmentaristas. Aquéllos piensan que la globalización es la última modalidad de la explotación capitalista en la que las tecnologías de la información, la mundialización de los mercados, la concentración del poder internacional y la uniformidad de las manifestaciones culturales son componentes inseparables de un único paquete. Los moderados, en cambio, consideran que cada uno de estos aspectos de la globalización se puede tratar y modificar por separado, en especial y generalmente por este orden: lo relativo a la uniformidad de la cultura, la regulación de los mercados y la concentración del poder.

El problema para los críticos radicales es que la reivindicación de otro mundo como posible sea poco creíble en lo que se refiere a la *posibilidad*. El espacio de lo posible es el espacio de las posibilidades de acción y está definido precisamente por las tecnologías disponibles.¹ De manera que, si queremos garantizar que hay otro mundo posible, deberíamos empezar por determinar con qué tipo de tecnologías vamos a contar para nuestro proyecto. Y, en cuanto a los críticos moderados, de lo que cabe dudar con frecuencia es de que ese otro mundo posible sea realmente *otro* si es que se va a asentar sobre las mismas bases tecnológicas que tenemos ya.

Desde luego, personalmente, soy más partidario de la crítica moderada que de la radical. Me gustaría que el mundo fuera de otra manera, pero no que dejara de ser un único mundo, accesible a todos. Pero además me gustaría que ese otro mundo no fuera sólo concebible y deseable sino que fuera además realizable, es decir, que pudiéramos hacerlo real. Y eso requiere que nos ocupemos también de

¹ Broncano (1988).

la tecnología. Por dos razones: 1) porque la tecnología disponible delimita nuestras posibilidades de acción; 2) porque lo que nosotros hagamos ahora es decisivo para definir qué tecnologías tendremos a nuestra disposición mañana.

Esta idea de la tecnología como algo que nos constituye y que, al mismo tiempo, depende de nosotros tiene un fondo orteguiano. En efecto, entre los clásicos de la filosofía de la técnica del siglo xx, Ortega y Gasset fue el primero que reivindicó una visión de la técnica como componente esencial del proyecto vital humano. Según Ortega,² el hombre desarrolla la técnica para poder ser dueño de su propia vida, para ampliar el horizonte de posibilidades de actuar y desarrollar así libremente (no condicionado por la necesidad biológica) su proyecto vital. Fue él también uno de los primeros, si no el primero, que señaló la coherencia entre los distintos modelos de proyecto vital y las distintas trayectorias de desarrollo tecnológico, cuando comparaba la técnica del *gentleman* orientada al bienestar material, al confort y la técnica del monje tibetano orientada a la oración y a la estabilidad de las formas de vida. Conviene que tengamos esto en cuenta, no por una concesión provinciana a la tradición de la filosofía en castellano, sino porque sinceramente preferiría que lo que voy a decir a continuación se interpretara en esta clave de la tradición orteguiana, que es lo justo, y no como una concesión a otras corrientes de pensamiento, como la del constructivismo social de la tecnología.

En definitiva, también por fidelidad a Ortega, aunque no sólo por eso, si reivindicamos otros mundos deberíamos saber que eso tiene que ir acompañado de algunas previsiones acerca de qué tecnología queremos tener.

¿Pero existen realmente en la sociedad globalizada alternativas tecnológicas?

2. ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS Y TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS

Para poder hablar de las bases tecnológicas de otros mundos posibles, deberíamos poder distinguir tres conceptos que están muy relacionados. Estos son los de alternativa tecnológica, tecnología alternativa y uso alternativo de una tecnología.

La caracterización de las tecnologías como sistemas de acciones³ no es un expediente trivial. Pero para nuestros propósitos actuales vamos a simplificar el asunto considerando que una tecnología queda suficientemente caracterizada

² Ortega y Gasset (1939).

³ Quintanilla (1988). Y en el capítulo III de este libro.

por lo que llamaremos sus objetivos y sus resultados.⁴ Los objetivos O de una tecnología son el conjunto de estados del mundo que se pretende que cambien con la aplicación de dicha tecnología. Los resultados R son el conjunto de estados del mundo que de hecho cambian con la aplicación de la tecnología. Propongo que aceptemos, a efectos de la presente argumentación, que los conjuntos O y R caracterizan suficientemente a una tecnología T . A partir de ellos podemos definir otras características interesantes de las tecnologías como su grado de eficacia, amplitud, intensidad, etcétera.

Por ejemplo, el grado de eficacia de $T(O, R)$ se puede definir como la proporción entre los objetivos conseguidos y los pretendidos. En otras partes⁵ he definido este y otros conceptos relacionados —el de adecuación instrumental de una acción— como la relación entre los objetivos conseguidos y los resultados reales obtenidos, y la eficiencia o valor funcional de una acción como una función combinada de eficacia y adecuación instrumental. A partir de estos conceptos se pueden precisar las nociones que nos interesan ahora, parcialmente adelantadas en la primera parte.⁶ En concreto, dadas las tecnologías $T(O, R)$ con objetivos O y resultados R , y $T'(O', R')$ con objetivos O' y resultados R' diremos que:

- La tecnología $T'(O', R')$ es una *alternativa tecnológica* para $T(O, R)$ si O está incluido en, pero no es igual a, O' ($O \subset O'$).
- T' y T son tecnologías completamente alternativas si $O \cap O' = \emptyset$.
- Decimos que x *hace uso de la tecnología T para el propósito P* si x usa $T(O, R)$ y P está incluido en R .
- Diremos que x *hace un uso completamente alternativo* de $T(O, R)$ si x hace uso de $T(O, R)$ con el propósito P y $P \cap O = \emptyset$.

Explicaremos estas semidefiniciones (especifican condiciones necesarias, pero no suficientes, para definir los correspondientes conceptos).

Un *alternativa tecnológica* para una tecnología T es otra tecnología T' que cubre al menos los mismos objetivos cubiertos (no solo propuestos) por T . Supongamos que tratamos de tecnologías de transporte, cuyos objetivos son permitir desplazar a un grupo de personas a más de 400 kilómetros en un tiempo no superior a dos horas. Hace un siglo este objetivo era tecnológicamente imposible de cubrir. Después fue posible cubrirlo mediante la tecnología del transporte aé-

⁴ Véanse capítulos iv y x.

⁵ Véase *supra* capítulo x.

⁶ Véase capítulo iv, sección 7: "Aplicaciones y usos de una técnica".

reo. Finalmente, ahora hay una alternativa tecnológica a la del transporte aéreo: el transporte por ferrocarril de alta velocidad, que puede desarrollar una velocidad de 300 kilómetros por hora. El tren de alta velocidad es una alternativa al transporte aéreo, es decir, es otra forma de conseguir el mismo objetivo utilizando medios diferentes.

La idea de alternativa tecnológica es esencial para entender adecuadamente la estructura y el desarrollo de la tecnología. Creo incluso que se debería aceptar como principio básico de la filosofía de la tecnología lo que podríamos llamar el principio de *pluralismo tecnológico*, que rezaría así: *Para toda tecnología existen alternativas.*

Obsérvese que las alternativas tecnológicas no son tecnológicamente inocentes. Por lo general, las alternativas tecnológicas difieren de las tecnologías originalmente disponibles en parte de los objetivos que incorporan y en los resultados que obtienen. Esto es precisamente lo que las hace alternativas y diferentes y lo que explica las diferencias de valoración que cabe esperar para cada alternativa tecnológica (su eficiencia, su coste, su utilidad, su interés social, político, estético, etc.). En el caso del transporte aéreo y por ferrocarril, una parte de los objetivos son específicos. Por ejemplo, el ferrocarril permite desplazar al viajero hasta el centro de los núcleos urbanos. En contrapartida, la infraestructura física del ferrocarril es, por lo general, más costosa que la de los aeropuertos.

¿Por qué estamos interesados en las alternativas tecnológicas?

Por dos tipos de razones. En primer lugar, con el diseño de una alternativa tecnológica podemos intentar conseguir los mismos objetivos de forma más eficiente, económicamente más rentable, moralmente más aceptable o estéticamente más deseable. Por otra parte, el diseño de alternativas tecnológicas nos permite también concebir y realizar nuevos objetivos compatibles con los que ya están incorporados a nuestras tecnologías disponibles. En ambos casos mantenemos los objetivos básicos incorporados a las tecnologías disponibles, pero contribuimos a cambiar el mundo, en la medida en que, por lo general, las consecuencias (sociales, económicas, medioambientales, culturales, etc.) de las alternativas tecnológicas difieren de las consecuencias de las tecnologías disponibles, y además podemos, a través de ellas, incorporar nuevos objetivos tecnológicos y, por lo tanto, introducir nuevos cambios en el mundo.

Algunos de los cambios de la globalización propuestos por los críticos se pueden llevar a cabo sin alterar prácticamente la base tecnológica de la sociedad, pero otros requieren el diseño de alternativas tecnológicas bien definidas. Por ejemplo, se puede gravar con impuestos la circulación de personas, mercancías o

capitales sin alterar prácticamente las tecnologías disponibles. Pero no se puede impedir el control de la tecnología informática por compañías privadas si no se diseñan programas informáticos de código abierto y no se promueve ni apoya su uso, ni se puede reducir la contaminación atmosférica de las centrales termoeléctricas de gas o carbón sin desarrollar tecnologías que permitan aprovechar de forma eficiente otras fuentes de energía.

Además de diseñar alternativas tecnológicas y, de paso, hacer posible un mundo diferente, también podemos agarrar el toro por los cuernos y lanzarnos directamente a la construcción de tecnologías alternativas, de carácter local o, mejor aún, global. La diferencia entre esta estrategia y la anterior no es una simple cuestión de grado. Cuando hablamos de *tecnologías alternativas* en realidad se trata, casi siempre, de *objetivos alternativos para el desarrollo tecnológico*, y no sólo de formas diferentes de conseguir ciertos objetivos. Esto se puede plantear en un ámbito restringido o, insensatamente, en mi opinión, en el conjunto total de las tecnologías disponibles. Esto último es insensato pero no imposible. Hay algunas sectas religiosas que tienen a gala el organizar su actividad social y económica sin traspasar los límites de las tecnologías disponibles antes de la revolución industrial. El movimiento *hippy* de los sesenta pretendía dar la espalda a las tecnologías industriales y recuperar una especie de forma de vida bucólica y pastoril. Y en la actualidad hay personas y grupos que no ven posible combatir el cambio climático de otra forma que no sea instaurando un nuevo modo de vida, completamente diferente al que han seguido los países desarrollados desde la revolución industrial. Una versión más actual e interesante de esta reivindicación de una tecnología alternativa es la que se planteó en torno a la idea de tecnologías intermedias o apropiadas⁷ para los países menos desarrollados, o la que se escucha ahora en contextos de debates multiculturales,⁸ en relación con la recuperación de tecnologías locales, autóctonas, vinculadas a las tradiciones y recursos de diferentes culturas. En efecto, otro mundo completamente diferente puede ser en principio posible.⁹

Creo que el programa de diseñar tecnologías alternativas, es decir de seleccionar objetivos alternativos para el desarrollo tecnológico es una fuente de novedades muy interesante. Incluso las multinacionales farmacéuticas son conscientes

⁷ Schumacher (2011).

⁸ Olivé (2012), pp. 137-162.

⁹ Una estrategia interesante podría ser definir una métrica de la alternatividad (la distancia) entre tecnologías; igualmente deberíamos hablar también de mundos más o menos alternativos (distantes) a uno dado (al actual, por ejemplo).

de ello y organizan expediciones de antropólogos, botánicos y farmacólogos para apropiarse de los saberes y productos de las culturas tradicionales que pueden dar lugar a nuevos productos industriales. Lo que me parece insensato es apostar por una alternativa global e instantánea a todo el sistema tecnológico que sirve de base a la globalización. En primer lugar, podrían aplicarse aquí los conocidos argumentos de Popper¹⁰ en contra del holismo en tecnologías sociales, aunque personalmente prefiero no acudir mucho a ellos, ya que incorporan elementos espurios, como la idea de que la ingeniería social sólo puede ser fragmentaria y no sistémica, con los que no estoy de acuerdo. Pero en el caso del diseño de alternativas tecnológicas, la insensatez del holismo es más evidente: nos priva de los medios para desarrollar nuestros proyectos. En pocas palabras: puede resultar muy atractivo un modelo de civilización libre de la contaminación que producen los automóviles, pero sería difícil de conseguir si, para evitar la contaminación de los motores de combustión interna, tenemos que reducir nuestros desplazamientos a aquellos que son posibles a lomos de caballerías. En lugar de ello, lo sensato es seguir usando nuestros motores y mejorándolos o sustituyéndolos por otros que nos permitan reducir o eliminar su nivel de emisiones de gases y partículas contaminantes, que es lo que se está intentando hacer, desde hace años, por cierto, aunque a un ritmo excesivamente lento, sin duda.

Por último, hay una tercera fuente de cambio social asociado al cambio tecnológico, que es el que se produce como consecuencia del *uso alternativo* de tecnologías disponibles. En realidad esta noción de uso alternativo de una tecnología se puede entender también como una variante de la noción de alternativa tecnológica, pues se trataría no de diseñar una nueva tecnología para cubrir objetivos ya previstos, sino de adaptar tecnologías disponibles para cubrir objetivos nuevos. En muchos casos, por ejemplo en el del diseño de tecnologías apropiadas para contextos sociales con pocos recursos tecnológicos, de eso es de lo que se trata. Y en general la estrategia de imaginar nuevos usos para las tecnologías disponibles es una importante fuente de innovación y de cambio social.

Para resumir, se nos ofrecen muchas posibilidades de cambiar la tecnología para cambiar el mundo. En primer lugar, podemos diseñar nuevas formas de hacer las cosas, podemos también imaginarnos nuevas cosas que hacer e intentar descubrir la manera de hacerlo de forma eficiente, es decir, con nuevas tecnologías alternativas a las disponibles, y por último, podemos también usar las tecnologías disponibles de forma creativa para conseguir objetivos diferentes a

¹⁰ Popper (1957).

los previstos, dentro de los límites impuestos por la realidad. Veamos ahora algunos ejemplos prácticos.

3. RECETAS PARA UN MUNDO GLOBALIZADO

Empezaremos por el *uso alternativo de una tecnología* disponible. Se trata del famoso caso de la copia de música y video o texto en la red Internet. La base tecnológica es muy sólida: se trata de sistemas y estándares de compresión de la información digital, imprescindibles para optimizar la capacidad y la velocidad de transmisión y procesamiento de datos. El uso alternativo consiste en utilizar esa tecnología nueva para mejorar una práctica tradicional, consistente en compartir copias privadas de piezas musicales. Se entiende que esa práctica tradicional estaba permitida siempre que no tuviera consecuencias comerciales y, en el caso de alguna legislación, como la española, siempre que se compensara la posible incidencia de esa práctica sobre los derechos de propiedad intelectual, pagando una tasa al adquirir el soporte de la copia (casete, CD, etc.). Al introducir esa práctica en la estructura tecnológica de internet se ha producido un cambio cualitativo: lo que era una práctica privada sin grandes repercusiones comerciales se ha transformado en una amenaza seria para la rentabilidad de la industria del entretenimiento. La reacción de la industria discográfica y de los poderes públicos ha sido intentar limitar esa práctica por medios jurídicos y tecnológicos. Los medios tecnológicos están condenados al fracaso, porque hasta el momento nadie ha sido capaz de inventar un sistema para bloquear la copia de información que no pueda ser descerrajado por un *hacker* adecuadamente motivado. Y los medios jurídicos son precisamente la arena en la que se debaten los posibles usos alternativos de esa tecnología disponible. Por el momento están ganando la batalla los partidarios de restringir mediante sanciones jurídicas el uso de la tecnología para distribuir gratuitamente, en redes de relaciones personales, copias de productos informáticos. Pero me parece que aquí existe todavía una amplia ventana de posibilidades inexploradas que pueden dar lugar verdaderamente a otro mundo que ya es tecnológicamente posible.

Las objeciones más serias a esta alternativa tienen que ver con el miedo a lo desconocido y con la defensa de intereses corporativos más que con motivos sólidos y racionales. Se dice, por ejemplo, que la generalización del intercambio de copias terminará arruinando a las industrias discográficas, lo cual afectará a los artistas que verán cómo sus obras dejarán de llegar al gran público. Se trata de

una objeción bastante discutible. Lo único cierto es que cambiará el sistema de distribución y también cambiará el nivel de generación de beneficios y la modalidad de apropiación de éstos que tal sistema hace posible. Pero no entiendo por qué eso habría de cambiar la capacidad de producción artística y de distribución y conocimiento de las obras de arte musicales. La posibilidad de descargar en la red internet la grabación del concierto de fin de año de Viena no impide que el concierto se celebre en vivo y en directo y que haya siempre cientos de personas interesadas en presenciarlo.

De hecho, en algunos ámbitos de la cultura la reproducción y circulación gratuita de la información ya se produce de forma sistemática, y es compatible con la existencia de procedimientos tradicionales de copia y distribución. Me refiero concretamente a la publicación electrónica de versiones previas (*e-prints*) de artículos científicos que al mismo tiempo se remiten para su publicación a revistas científicas. Muchas de las revistas científicas de mayor prestigio internacional aceptan en la actualidad la publicación de trabajos que ya han circulado previamente en formato electrónico, a través de la web. Los lectores de esos trabajos, además, aunque pueden conocer su contenido accediendo a su versión electrónica en la web, valoran su publicación en una revista tradicional de prestigio, como una confirmación del valor que el resto de la comunidad científica atribuye a ese trabajo. El secreto de este sistema reside en que los editores de las revistas científicas añaden un valor al trabajo que deciden publicar, el valor de haber sido refrendado por anónimos especialistas cuidadosamente seleccionados por los editores. Para extrapolar este ejemplo al caso de la distribución discográfica, sólo habría que preguntarse cuál (y cuánto) es el valor añadido por las distribuidoras discográficas al trabajo creativo del artista, y ensayar procedimientos equivalentes de reconocimiento de ese valor añadido. Con estas premisas, creo que sería posible diseñar sistemas respetuosos tanto con el reconocimiento del verdadero valor que cada cual aporta a la creación artística como con la nueva cultura que se abre paso a través del uso alternativo de la copia digital de producciones artísticas. Lo que cabe esperar, en todo caso, es que se produzcan a la larga modificaciones sustanciales —pero no necesariamente perversas— en la forma de producir, distribuir y utilizar creaciones culturales grabadas en soporte electrónico.

Un ejemplo de diseño de *alternativas tecnológicas* lo encontramos en el caso de los sistemas operativos de los servidores de redes informáticas. Aquí no se trata de una opción ideológica y de difícil realización, sino de una alternativa realmente existente que consigue los mismos objetivos de forma tan eficiente o más que la tecnología previa, y lo hace de una forma que conlleva consecuencias so-

ciales, jurídicas y culturales completamente diferentes. Me refiero al sistema operativo Linux y, en general, a todo el movimiento del *software* libre, bien conocido por todo el mundo. No se trata de una apuesta por una tecnología alternativa. Linux hace exactamente lo mismo que Windows NT o que Unix. Incluso lo hace mejor, desde algunos puntos de vista. La diferencia estriba en que Linux es un programa abierto al escrutinio y la mejora de los usuarios, cosa que no permiten sus competidores. Y curiosamente, esta misma característica parece ser la principal responsable de la robustez y eficiencia tecnológica de Linux: hay tanta gente contribuyendo a mejorarlo que termina siendo el mejor.

Por último, en este mismo campo de la tecnología informática, podemos encontrar múltiples ejemplos de *tecnologías alternativas* propiamente dichas (es decir tecnologías muy distanciadas de sus predecesoras, en cuanto al tipo de objetivos que cubren). Un caso llamativo conocido es la tecnología wiki. Se puede entender como una tecnología que facilita la participación de todo el mundo en la creación de contenidos (fundamentalmente a través del lenguaje escrito, por el momento). En esencia, una aplicación wiki es un sitio de internet en el que cualquiera puede escribir lo que quiera sobre un conjunto de temas definidos y cambiar lo que cualquier otro haya escrito antes sobre ese mismo asunto. Una aplicación típica de esta tecnología es la Wikipedia, una enciclopedia en la que cualquier usuario puede reescribir o cambiar cualquier artículo ahí publicado. Así dicho, podría pensarse que el resultado de tal tecnología es el caos conceptual. Pongamos por caso: yo escribo en la Wikipedia un artículo sobre filosofía de la tecnología, luego un colega cualquiera lee el artículo y decide cambiarlo porque hay algo que digo allí con lo que no está de acuerdo, o simplemente porque me olvidé citar su último libro sobre el tema y él cree que el artículo mejoraría con esa imprescindible referencia bibliográfica. Pues bien, lo cambia y en paz. Cuando yo vuelva a entrar en esa página y vea qué ha cambiado, seguramente me interesaré por saber quién ha hecho el cambio y por qué. Y en efecto, allí habrá quedado registrada toda esa información. Lo más probable es que esté de acuerdo en que el resultado final es mejor que lo que yo había escrito y lo deje como está. Pero también es posible que me enfade y vuelva a reponer mi original, etc. Es evidente que en poco tiempo se podría llegar al caos. Pero lo cierto es que la experiencia demuestra lo contrario: por lo general, las páginas wiki son bastante estables, la gente acepta normas de comportamiento razonables y el resultado final suele ser valioso y, en todo caso, interesante. ¿Por qué? Una de las razones que se han dado me parece muy convincente: la tecnología hace que sea más sencillo respetar lo que ya está, si es bueno, que cambiarlo por algo peor. El que entra en una página wiki sólo

para fastidiar, tiene menos motivación que el que entra para volver a poner las cosas en su sitio. El primero tiene que escribir un nuevo texto para sustituir al que se encuentra en la página. Sin embargo, para restituir el texto inicial, cambiado irresponsablemente por el intruso, basta con que cualquiera que haya advertido el ataque apriete un botón que permite restablecer el orden.¹¹

Bueno, no creo que la tecnología wiki sea una panacea, pero es una verdadera tecnología alternativa, para escribir enciclopedias, para la colaboración intelectual entre varios autores, para la gestión del conocimiento en las organizaciones, etc. Y parece que es una tecnología muy eficaz y muy útil. Tanto que ya está siendo objeto de “usos alternativos”, por ejemplo el que hacen de ella algunas grandes empresas e instituciones para facilitar el intercambio de ideas entre sus miembros. Así que seguramente estamos ante un caso más en el que una tecnología alternativa se va a convertir en un pilar importante de la gestión del conocimiento en la sociedad global.

En los últimos años han proliferado iniciativas de desarrollo alternativo de tecnologías avanzadas. Un caso emblemático es la extensión del movimiento de *software* libre al campo de la producción, distribución y uso del *hardware*. El controlador Arduino,¹² por ejemplo, es una tarjeta de interfaz entre un ordenador y su entorno, apto para gestionar señales de múltiples sensores y emitir instrucciones a múltiples actuadores. Lo interesante es que se distribuye bajo licencia *Creative Commons* que permite usar, copiar y modificar el dispositivo sin más limitaciones que la de distribuir los resultados con el mismo tipo de licencia. Esto hace que en torno a Arduino se haya constituido toda una comunidad de desarrollo tecnológico alternativo, capaz de llegar a las más avanzadas prestaciones. Otro ejemplo de tecnología disruptiva es la que se está desarrollando en torno al movimiento RepRap¹³ de máquinas autorreplicantes: impresoras 3D programadas para producir las piezas de las cuales están compuestas, y generar así nuevas máquinas y nuevas piezas de *hardware* a partir de diseños compartidos por una comunidad cada vez más amplia de usuarios, ya sean profesionales o no.

Las alternativas no tienen por qué producirse solamente en áreas avanzadas de las tecnologías de la información. También hay alternativas tecnológicas que pueden desarrollarse a partir de elementos muy primitivos y de conocimientos

¹¹ El comportamiento real no siempre se ajusta a este patrón y de hecho en la Wikipedia se han tenido que introducir normas de control para evitar no tanto el caos cuanto el abuso de la libertad que ofrece internet para introducir información sesgada en favor o en contra de intereses privados, políticos, comerciales, etcétera.

¹² Véase página web: <<https://www.arduino.cc/>>.

¹³ Véase página web: <<http://www.reprap.org/>>.

artesanales asequibles a todos. Un ejemplo notable podemos encontrarlo en el dispositivo conocido como *chukudu*, desarrollado en zonas rurales del este del Congo y de Ruanda. Se trata de una especie de carretilla, basada en la técnica tradicional del patinete, que se utiliza para el transporte de cargas de tamaño mediano (puede llegar hasta los 500 kilos) y que se fabrica en madera mediante técnicas artesanales muy elementales y un coste de 50 dólares.¹⁴

4. PARA TERMINAR, PENSANDO EN EL FUTURO

Para terminar podríamos decir que lo importante no es sólo que podamos imaginar otro mundo posible sino que, si seguimos la disciplina del desarrollo tecnológico, también podemos hacer que ese mundo sea real. Si estamos interesados en ambas cosas (imaginar un mundo mejor y hacerlo posible) sería conveniente que siguiéramos algunas recetas prácticas sencillas, como las que se mencionan a continuación, que pretenden definir algo así como una adaptación del credo de la Ilustración al mundo tecnológico actual.

- Intenta promover tecnologías diáfanas, *abiertas*, no propietarias.
- Favorece las tecnologías *entrañables*, es decir inteligibles, adaptables, apropiadas (véase *Adendum*).
- Contribuye a inventar, usar y difundir tecnologías que faciliten la *colaboración* y la *solidaridad*.
- Aunque te encanten las cosas que ya puedes hacer, no dejes de imaginar *otras formas de hacer* las cosas y *otras cosas dignas* de ser hechas.
- Reivindica tu derecho a entender.
- Atrévete a saber y a saber hacer.
- Atrévete a *actuar*.
- *Difunde* los conocimientos y los resultados de la actividad creativa.
- Valora el *trabajo bien hecho*, la acción eficiente y la innovación útil
- No renuncies al *control* del medio, natural o social, en el que se desenvuelve tu vida.

¹⁴ <<https://en.wikipedia.org/wiki/Chukudu>>.

5. ADENDUM SOBRE TECNOLOGÍAS ENTRAÑABLES

El modelo predominante de desarrollo tecnológico (vinculado al crecimiento económico, pero no al desarrollo humano integral que propone Bunge),¹⁵ facilita la difusión de la tecnología entre usuarios no expertos, pero produce alienación, dependencia y actitudes negativas hacia la técnica. Es preciso definir un modelo alternativo de desarrollo tecnológico, acorde con los objetivos del desarrollo humano integral, y orientado a crear y difundir tecnologías entrañables, no alienantes. En otras ocasiones¹⁶ he adelantado algunas características de ese modelo, que podría utilizarse como guía para la evaluación de planes tecnológicos y para completar el elenco de “recetas para hacer real otro mundo posible”.

He aquí los 10 criterios que proponemos para definir el modelo de tecnologías entrañables:¹⁷

- *Tecnología abierta*: disponibilidad frente a restricción. Una tecnología es más o menos disponible (menos o más restringida) en función de la capacidad de diferentes agentes humanos para tener acceso a ella y utilizarla libremente.
- *Tecnología polivalente*. Una tecnología es más o menos polivalente si es susceptible de ser utilizada por otros agentes y para otros propósitos para los que se diseñó.
- *Tecnología controlable*. Un sistema técnico es controlable, más o menos, en la medida en que cualquier usuario humano, con las cualificaciones normales, sea capaz de iniciar, corregir o detener el funcionamiento del sistema en caso necesario.
- *Tecnología de alcance limitado*: las consecuencias sociales y medioambientales de la tecnología deben ser previsibles y limitadas. Aplicación razonable del principio de precaución.
- *Tecnología reversible*: en caso necesario, debe poder restaurarse, en una parte significativa, el medio natural y social hasta recuperar su estado inicial, antes de la implantación de la tecnología.
- *Recuperación y mantenimiento asequible* de los artefactos tecnológicos. No a la obsolescencia programada. No a la máxima de “usar y tirar”.

¹⁵ Bunge (2014).

¹⁶ Quintanilla (2002); Quintanilla (2012).

¹⁷ Para profundizar en el tema, véase Quintanilla (2017); Parselis (2016a y 2016b).

- *La tecnología debe ser comprensible*: El usuario debe poder saber lo que está haciendo cuando la usa.
- *Tecnología colaborativa*: la tecnología debe facilitar, no impedir, la participación y la cooperación entre usuarios.
- *Tecnología ambientalmente sostenible*: el desarrollo tecnológico actual no debe agotar los recursos que hagan posible su continuidad en el futuro.
- *Tecnología socialmente responsable*: la difusión de una tecnología no debe tener consecuencias sociales que empeoren la situación de los colectivos más desfavorecidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aibar, E. (1990), “El instituto de investigaciones sobre ciencia y tecnología”, en M. Medina y J. Sanmartín (comps.), *Ciencia, tecnología y sociedad*, Barcelona, Antropos, pp. 186-195.
- , y M. A. Quintanilla (2002), *Cultura tecnológica. Estudios de ciencia, tecnología y sociedad*, Barcelona, Horsori, ICE Universidad de Barcelona.
- Álvarez, S. (1995), “Racionalidad y método científico”, en Olivé (comp.), *Racionalidad epistémica*, Madrid, Trotta, pp. 147-170.
- Aracil, J. (1986), *Máquinas, sistemas y modelos. Un ensayo sobre sistémica*, Madrid, Tecnos.
- Araya, G. (1992), *El pensamiento de Américo Castro: estructura intercastiza de la historia de España*, Madrid, Alianza.
- Asensio, E. (1992), *La España imaginada de Américo Castro*, Barcelona, Crítica.
- Ashby, W. R. (1972), *Introducción a la cibernética*, Buenos Aires, Nueva Visión.
- Barnes, B. (1974), *Scientific Knowledge and Sociological Theory*, Londres, Routledge & Keagan Paul.
- Berge, C. (1958), *Théorie des graphes et ses applications*, París, Dunod.
- Berk, A. A. (1985), *Prolog: Programación y aplicaciones en inteligencia artificial*, Madrid, Anaya.
- Bernal, J. D. (1939), *The Social Function of Science*, Nueva York, MacMillan.
- Bijker, W. E., T. P. Hughes y T. J. Pinch (comps.) (1987), *The Social Construction of Technological Systems. New Directions in the Sociology and History of Technology*, Cambridge, Massachusetts y Londres, The MIT Press.
- Bloor, D. (1976), *Knowledge and Social Imagery*, Londres, Routledge & Keagan Paul.
- Boden, M. A. (1984), *Inteligencia artificial y hombre natural* (versión original, 1977), Madrid, Tecnos.
- Boulding, K. E. (1977), “The Interplay of Technology and Values: The Emerging Superculture”, en K. Baier y N. Rescher (comps.), *Values and the Future*, Nueva York, Free Press.
- Braun, E. (1986), *Tecnología rebelde* (versión original: *Wayward Technology*, 1984, Londres, Frances Pinter), Madrid, Tecnos-Fundesco.
- Braun, E., y S. Macdonald (1984), *Revolución en miniatura. La historia y el impacto de la electrónica del semiconductor* (versión original, Cambridge, Cambridge University Press, 1978), Madrid, Tecnos-Fundesco.

- Bravo, A. (1995), "Innovaciones teóricas en la economía del cambio tecnológico", en Broncano (comp.), pp. 217-235.
- (2004), *Informe para una encuesta de actitudes para la innovación*, documento de trabajo, comunicación personal.
- Broncano, F. (1988), "Las posibilidades tecnológicas. Una línea de demarcación entre ciencia y tecnología", *Arbor: Ciencia, pensamiento y cultura* 507: 47-70.
- (1995), "La naturalización de la razón", en Olivé (comp.), *Racionalidad epistémica*, Madrid, Trotta, pp. 223-244.
- (comp.) (1995), *Nuevas meditaciones sobre la técnica*, Madrid, Trotta.
- (2001), *Mundos artificiales*, México, Paidós.
- Brooks, H. (1965), "The Interaction of Science and Technology: Another View", en W. Warner *et al.* (comps.), *The Impact of Science on Technology*, Nueva York, Londres, Columbia University Press, pp. 37-48.
- Bunge, M. (1963), "Tecnología, ciencia y filosofía", *Anales de la Universidad de Chile*, vol. 121, pp. 64-92.
- (1974), *Semantics I: Sense and Reference. Treatise on Basic Philosophy*, vol. II, Dordrecht, Reidel.
- (1974a), *Semantics II: Interpretation and Truth. Treatise on Basic Philosophy*, vol. III, Dordrecht, Reidel.
- (1974b), "Technology as Applied Science", en Rapp (comp.), Dordrecht, Reidel, pp. 19-39.
- (1976), *Tecnología y filosofía*, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- (1977a), "The Philosophical Richness of Technology", en F. Suppe y P. D. Asquith (comps.), *PSA 1976*, vol. 2, East Lansing, Michigan.
- (1977b), *Treatise on Basic Philosophy*, vol. III, *Ontology I: The Furniture of the World*, Dordrecht, Reidel.
- (1979), *Treatise on Basic Philosophy*, vol. IV, *Ontology II: A World of Systems*, Dordrecht, Reidel.
- (1980), *The Mind-Body Problem. A Psychobiological Approach*, Oxford, Pergamon.
- (1981), *Scientific Materialism*, Dordrecht, Reidel.
- (1982), *La investigación científica*, 2ª edición, Barcelona, Ariel.
- (1983), *Treatise on Basic Philosophy*, vol. VI, *Epistemology and Methodology II. Understanding the World*, Dordrecht, Reidel.
- (1985a), *Seudociencia e ideología*, Madrid, Alianza.
- (1985b), *Treatise on Basic Philosophy*, vol. VII, *Philosophy of Science and Technology. Part II: Life Science, Social Science and Technology*, Dordrecht, Reidel.
- (1989), *Treatise on Basic Philosophy*, vol. VIII, *Ethics: The Good and the Right*, Dordrecht, Reidel.

- Bunge, M. (1999), *Las ciencias sociales en discusión. Una perspectiva filosófica*, Buenos Aires, Editorial Sudamericana.
- (2002), *Ser, saber, hacer*, México, Paidós.
- (2014), *Ciencia, técnica y desarrollo*, Laetoli, Pamplona, 158 pp.
- Campbell, J. A. (comp.) (1984), *The Implementations of Prolog*, Chichester, Ellis Horwood.
- Carpenter, S. R. (1977), “Philosophical Issues in Technology Assessment”, *Philosophy of Science* 44: 574-593.
- Castells, M., et al. (1986), *El desafío tecnológico. España y las nuevas tecnologías*, Madrid, Alianza.
- Castilla, A. (1987), “Evaluación de la tecnología en países con un nivel medio de industrialización”, *Telos* 12: 50-56.
- Castilla, A., y M. C. Alonso (comps.) (1986), *El desafío de los años noventa*, Madrid, Fundesco.
- Castro, A. (1948), *España en su historia; cristianos, moros y judíos*, Buenos Aires, Losada.
- (1971), *The Spaniards; An Introduction to Their History* (trad. de Willard F. King y Selma Margaretten), Berkeley, University of California Press.
- Chapman, D., y P. E. Agre (1987), “Abstract Reasoning as Emerging from Concrete Activity”, en M. P. Georgeff y A. Lansky (comps.), *Reasoning About Abstract and Plans*, Los Altos, California, Kaufmann, pp. 411-424.
- Cruz Hernández, M. (1963), *Filosofía árabe*, Madrid, Alianza.
- Cuena, J. (1985), *Lógica informática*, Madrid, Alianza.
- , et al. (1985), *Inteligencia artificial: sistemas expertos*, Madrid, Alianza.
- Cuevas, A. (2000), “Ciencias de la ingeniería”, tesis doctoral, Universidad del País Vasco, San Sebastián.
- Dasgupta, P. (1983), “Sobre la tecnología apropiada”, en A. Robinson (comp.), *Tecnologías apropiadas para el desarrollo del Tercer Mundo*, pp. 32-43.
- Dickinson, H. W. (1958), “The Steam-engine to 1830”, en Singer et al. (comps.), *A History of Technology*, Oxford, Clarendon, pp. 168-198.
- Domenech, A. (1986), “La ciencia moderna, los peligros antropogénicos y la racionalidad de la política de la ciencia”, *Arbor: Ciencia, pensamiento y cultura* 481: 9-51.
- Dosi, G., C. Freeman, R. Nelson, G. Silverberg y L. Soete (1988), *Technical Change and Economic Theory*, Londres y Nueva York, Pinter Publishers.
- Duque, F. (1986), *Filosofía de la técnica de la naturaleza*, Madrid, Tecnos.
- Durbin, P. T. (1972), “Technology and Values: A Philosopher’s Perspective”, *Technology and Culture* 13: 556-576.
- (comp.) (1978), *Research in Philosophy and Technology*, 3 vols. (1978-1980), Greenwich, Connecticut.

- Durbin, P. T. (1995), "Pragmatismo y tecnología", *Isegoría* 12, 80-91.
- Echeverría, J. (1994), *Telépolis*, Barcelona, Destino.
- (1998), "Teletecnologías, espacios de interacción y valores", *Teorema* XVII/3: 11-26.
- (2003), *Tecnociencia*, Madrid, Fondo de Cultura Económica.
- Ellul, J. (1954), *La technique ou l'enjeu du siècle*, París, Armand Colin.
- (1977), *Le système technicien*, París, Calmann-Levy.
- (1980), *L'empire du non-sens*, París, PUF.
- Esquivel, J. (comp.) (1982), *La polémica del materialismo*, Madrid, Tecnos.
- Ezquerro, J. (1995), "Acciones, planes y tecnología", en Broncano (comp.), *Nuevas meditaciones sobre la técnica*, Madrid, Trotta, pp. 139-168.
- Feigenbaum, E., y J. Feldman (comps.) (1963), *Computers and the Thought*, Nueva York, McGraw-Hill.
- Ferrater Mora, J. (1974), *Cambio de marcha en filosofía*, Madrid, Alianza.
- Fikes, R. E., y N. J. Nilsson (1971), "Strips: A New Approach to the Application of Theorem Proving to Problem Solving", *Artificial Intelligence*, 2(3/4): 189-208.
- Forbes, R. (1958), "Power to 1850", en Singer *et al.* (comps.), *A History of Technology*, Oxford, Clarendon, pp. 148-168.
- Francstel, P. (1956), *Art et technique*, París, Éditions de Minuit.
- Freeman, C. (1974), *The Economics of Industrial Innovation*, Harmondsworth, Penguin Books (versión al español de E. Paredes: *La teoría económica de la innovación industrial*, Alianza, Madrid, 1974).
- (1987), *Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan*, Londres, Pinter.
- García de la Sierra, A. (1988), "El concepto de tecnología racional", en Valdivia y Villanueva (comps.), *Los supuestos de la racionalidad de la tecnología*, México, UNAM, pp. 106-115.
- García Noriega, B. (1987), "Lógica, problemas y programas", *Arbor: Ciencia, pensamiento y cultura* 496: 105-124.
- Gasparski, W. W. (1993), "A Philosophy of Practicality. A Treatise on the Philosophy of Tadeusz Kotarbinski", en *Acta Philosophica Fennica*, vol. 53, Helsinki.
- González Bernaldez, F. (1981), *Ecología del paisaje*, Barcelona, Blume.
- Gregory, S. A. (comp.) (1972), *Creativity and Innovation in Engineering*, Londres, Butterworths.
- Gutting, G. (1984), "Paradigms, Revolutions and Technology", en R. Laudan (comp.), *The Nature of Technological Knowledge*, Dordrecht, Reidel, pp. 47-66.
- Gvishiani, D. M. (1982), "La ciencia, la tecnología y el progreso social", en UNESCO, pp. 183-201.

- Habermas, J. (1968), *Technik und Wissenschaft als "Ideology"*, Fráncfort del Meno, Suhrkamp Verlag.
- Hughes, T. P. (1987), "The Evolution of Large Technological Systems", en Bijker *et al.* (comps.), *The Social Construction of Technological Systems*, Cambridge, The MIT Press, pp. 51-82.
- Ihde, D. (1979), *Technics and Praxis: A Philosophy of Technology*, Boston, D. Reidel.
- Kalbhen, U., F. Krüzkeberg y J. Reese (1983), *Las repercusiones sociales de la tecnología informática*, Madrid, Fundesco-Tecnos.
- Kotarbinski, T. (1965), *Praxiology: An Introduction to the Sciences of Efficient Action*, Oxford, Pergamon Press.
- Kowalski, R. (1979), *Logic for Problem Solving*, Nueva York, Elsevier/North Holland.
- Kuhn, T. S. (1962), *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, Chicago University Press (versión al español de A. Contín: *La estructura de las revoluciones científicas*, FCE, México, 1971).
- Lafuente, A., y J. J. Saldaña (comps.) (1987), *Historia de las ciencias*, Madrid, CSIC.
- Lain Entralgo, P. (1985), "Respuesta a la técnica", *Arbor: Ciencia, pensamiento y cultura* 460: 13-44.
- (1986), *Ciencia, técnica y medicina*, Madrid, Alianza.
- Lakatos, I., y A. Musgrave (comps.) (1970), *Criticism and the Growth of Knowledge*, Londres, Cambridge University Press (versión al español, Barcelona, Grijalbo, 1975).
- Laudan, R. (1984), "Cognitive Change in Technology and Science", en R. Laudan (comp.), *The Nature of Technological Knowledge*, Dordrecht, Reidel, pp. 83-104.
- Lawler, Diego, y Jesús Vega (coords.) (2009), *La respuesta a la pregunta. Metafísica, técnica y valores*, Biblos, Buenos Aires.
- Leyten, J., y R. Smits (1987), "A Revival of Technology Assessment. The Development of TA in Five European Countries & U.S.", en *Technology Assessment: An Opportunity for Europe*, Ámsterdam, Ministerio de Educación, pp. 29 y ss.
- Linkhor, R. (1987), "La evaluación de la tecnología en el parlamento europeo", *Telos* 12: 93-98.
- Liz, M. (1988), "Estructura de las acciones tecnológicas y problemas de racionalidad", *Arbor: Ciencia, pensamiento y cultura* 507: 97-107.
- (1995), "Conocer y actuar a través de la tecnología", en Broncano (comp.), *Nuevas meditaciones sobre la técnica*, Madrid, Trotta, pp. 23-52.
- (2002), *Un metafísico en tecnolandia: realidad, conocimiento y acción bajo nuevos puntos de vista*, Murcia, Universidad de Murcia.
- López Brugos, J. A. (1988), "Los sistemas expertos y la programación lógica", *Arbor: Ciencia, pensamiento y cultura* 508: 87-98.

- López de Mántaras, R. (1987), "Reflexiones sobre la inteligencia artificial", *Arbor: Ciencia, pensamiento y cultura* 496: 131-140.
- Loveland, D. W. (1978), *Automated Theorem Proving: A Logical Basis*, Ámsterdam, North Holland.
- Maltrás, B. (1996), "Los indicadores bibliométricos en el estudio de la ciencia. Fundamentos conceptuales y aplicaciones en política científica", tesis doctoral, Universidad de Salamanca.
- Marcuse, H. (1968), *El hombre unidimensional. Ensayo sobre la ideología de la sociedad industrial avanzada*, México, Joaquín Mortiz.
- Margolis, J. (1978), "Culture and Technology", en Durbin (comp.), *Research in Philosophy and Technology*, vol. I, Greenwich, Connecticut.
- Marx, K. (1972), *Elementos fundamentales para la crítica de la economía política* (borrador), 1857-1858 (*Grundrisse der Kritik der Politischen Ökonomie*), Madrid, Siglo XXI.
- Mattessich, R. (1978), *Instrumental Reasoning and System Methodology*, Dordrecht, Reidel.
- Mayntz, R. (1982), "Lessons Learned. Problems in the Acceptance of TA by Political Decision-makers", en *Proc. of Intern. Simp. of the Role of TA in the Decision-making Process*, Bonn, Ministerio del Interior.
- McCarthy, J. (1980), "Circumscription. A Form of Non-monotonic Reasoning", *Artificial Intelligence* 13: 27-40.
- McCarthy, J., y P. J. Hayes (1969), "Some Philosophical Problems from the Standpoint of Artificial Intelligence", en B. Meltzer y D. Michie, *Machine Intelligence*, Edimburgo, Edinburgh University Press, pp. 463-502.
- McDermott, D., y J. Doyle (1980), "Non-monotonic Logic", *Artificial Intelligence* 13: 41-72
- Medina, M. (1985), *De la Techne a la Tecnología*, Valencia, Tirant lo Blanch.
- , (1995), "Tecnología y filosofía: más allá de los prejuicios epistemológicos y humanistas", *Isegoría* 12: 180-196.
- Medina, M., y J. Sanmartín (comps.) (1990), *Ciencia, tecnología y sociedad. Estudios interdisciplinarios en la universidad, en la educación y en la gestión pública*, Barcelona, Anthropos.
- Meltzer, B., y D. Michie (eds.), (1969), *Machine Intelligence*, Edimburgo, Edinburgh University Press.
- Merton, R. K. (1957), *Social Theory and Social Structure*, Nueva York, Free Press.
- Mesthene, E. G. (1970), *Technological Change: Its Impact on Man and Society*, Cambridge, Massachusetts.
- Mitcham, C. (1989), *¿Qué es la filosofía de la tecnología?*, Barcelona, Anthropos.
- (1994), *Thinking Through Technology. The Path Between Engineering and Philosophy*, Chicago y Londres, The University of Chicago Press.

- Mitcham, C., y R. Mackey (comps.) (1973), *Bibliography of the Philosophy of Technology* (reproduccion de *Technology and Culture*, vol. 14, núm. 2), Chicago, Londres.
- Mompín Poblet, J. (comp.) (1987), *Inteligencia artificial. Conceptos, técnicas y aplicaciones*, Barcelona-México, Marcombo-Boixareu.
- Morón Arroyo, C. (1996), *El "alma de España": cien años de inseguridad*, Oviedo, Nobel.
- Mosterín, J. (1978), *Racionalidad y acción humana*, Madrid, Alianza.
- (1986), "Muguerza sobre la racionalidad", *Arbor: Ciencia, pensamiento y cultura* 490: 29-34.
- (1993), *Filosofía de la cultura*, Alianza, Madrid
- Muguerza, J. (comp.) (1974), *Lecturas de filosofía analítica*, Madrid, Alianza.
- (1975), "La teoría de las revoluciones científicas. (Una revolución en la teoría contemporánea de la ciencia)", introducción a la versión española de Lakatos y Musgrave (comps.) (1970).
- (1986), "Humán, demasiado humán; o la astucia de la razón instrumental. (La teoría de la racionalidad de J. Mosterín)", *Arbor: Ciencia, pensamiento y cultura* 490: 9-28.
- (1990), *Desde la perplejidad*, Madrid, Fondo de Cultura Económica.
- Mumford, L. (1934), *Technics and Civilization* (versión al español, Madrid, Alianza, 1977), Nueva York, Harcourt.
- (1967), *The Myth of the Machine*, 2 vols. (1967, 1970), Nueva York, Secker and Warburg.
- Nelson, R. (1987), *Understanding Technical Change as an Evolutionary Process*, Ámsterdam, North Holland.
- Newel, A., y H. A. Simon (1963), "GPS, a Program that Simulates Human Thought", en Feigenbaum y Feldman (comps.), *Computers and the Thought*, Nueva York, McGraw-Hill, pp. 279-293.
- Nilsson, N. (1982), *Principles of Artificial Intelligence*, Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer Verlag.
- Noble, D. F. (1987), *El diseño de Estados Unidos. La ciencia, la tecnología y la aparición del capitalismo*, Madrid, Ministerio de Trabajo.
- OCDE (1979), *Technology at Trial*, París.
- (1988), *New Technologies in the 1990's. A Socio-economic Strategy*, París.
- OIT (1987), *El cambio tecnológico: la respuesta tripartita, 1982-1985*, Madrid, Ministerio de Trabajo.
- Olivé, L. (1995), "Racionalidad, objetividad y verdad", en Olivé (comp.), pp. 91-122.
- (comp.) (1995), *Racionalidad epistémica. Enciclopedia Iberoamericana de Filosofía*, vol. 9, Madrid, Trotta-CSIC.

- Olivé, L. (junio de 2012), “Tecnología y cultura”, en Eduard Aibar y Miguel Ángel Quintanilla (coords.), *Ciencia, tecnología y sociedad. Enciclopedia Iberoamericana de Filosofía*, t. 32, Trotta, Madrid, pp. 137-162.
- Ortega y Gasset, J. (1939), “Meditación de la técnica”, En *Ensimismamiento y alteración*, Espasa Calpe, Buenos Aires. (Existen múltiples ediciones como volumen independiente.)
- Palacios, M. (comp.) (1987), *Informe de la comisión especial de estudio de la fecundación “in vitro”*, Madrid, Congreso de los Diputados.
- París, C. (1973), *Mundo técnico y existencia auténtica*, Madrid, Revista de Occidente.
- Parselis, M. (2016a), “El valor de las tecnologías entrañables”, *CTS: Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, núm. 32, vol. 11, Argentina.
- (2016b), *Las tecnologías entrañables como marco para la evaluación tecnológica*, tesis de doctorado, Universidad de Salamanca, Salamanca.
- Pérez Ransanz, A. R. (1995), “Racionalidad y desarrollo científico”, en Olivé (comp.), *Racionalidad epistémica*, Madrid, Trotta, pp. 171-202.
- Piaget, J. (1974), “La marche à quatre pattes”, en Piaget, *La prise de conscience*, pp. 11-18.
- (1974), *La prise de conscience*, París, PUF.
- Popper, K. R. (1957), *The Poverty of Historicism*, Routledge, Nueva York, 166 pp.
- (1963), *Conjectures and Refutations. The Growth of Scientific Knowledge*, Londres, Routledge & Keagan Paul, (versión al español, Buenos Aires, Paidós, 1967).
- (1984), *El universo abierto. Un argumento en favor del indeterminismo* (versión original, 1982, preparada por W. W. Bartley III), Madrid, Tecnos.
- Porter, A. L., et al. (comps.) (1980), *A Guidebook for Technology Assessment and Impact Analysis*, Nueva York, North Holland.
- Price, D. J. S. (1963), *Little Science, Big Science*, Nueva York, Columbia University Press (versión al español de J. M. López Piñero: *Hacia una ciencia de la ciencia*, Barcelona, Ariel, 1973).
- Procter, M. E. (1987), “Una experiencia en políticas de tecnología. Quince años en la OTA”, *Telos* 12: 99-104.
- Queralto, R. (1993), *Mundo, tecnología y razón en el fin de la modernidad*, Barcelona, Publicaciones de la Universidad de Barcelona.
- Quintanilla, M. Á. (comp.) (1976), *Diccionario de filosofía contemporánea*, Salamanca, Sígueme.
- (1976a), “El mito de la ciencia”, en M. Á. Quintanilla (comp.), *Diccionario de filosofía contemporánea*, Salamanca, Sígueme, pp. 65-81.
- (1976b), “La filosofía analítica”, en M. Á. Quintanilla (comp.), *Diccionario de filosofía contemporánea*, Salamanca, Sígueme, pp. 16-24.

- Quintanilla, M. Á. (1979a), *Aplicaciones del álgebra de Boole al análisis de teorías*, Salamanca, Ediciones Universidad de Salamanca.
- (1979b), “El álgebra de proposiciones y la lógica del descubrimiento”, *Cuadernos Salmantinos de Filosofía* 6: 187-195.
- (1980a), “El problema de la racionalidad tecnológica”, *Estudios Filosóficos* 29/8: 106-131.
- (1980b), “La tecnología, la educación y la formación de los educadores”, *Studia Paedagogica* 6: 101-104.
- (1981), *A favor de la razón. Ensayos de filosofía moral*, Madrid, Taurus.
- (1982a), “La verosimilitud de las teorías”, en *Actas del I Congreso de Teoría y Metodología de las Ciencias*, Oviedo, Pentalfa Ediciones, pp. 473-503.
- (1982b), “La crítica del materialismo”, en J. Esquivel (comp.), *La polémica del materialismo*, Madrid, Tecnos, pp. 79-85.
- (1984a), “Creatividad y racionalidad en la ciencia”, en *Estudios de lógica y filosofía de la ciencia, II*, Salamanca, Editorial Universidad de Salamanca, pp. 55-79.
- (1984b), “El valor cultural de las nuevas tecnologías”, *Arbor: Ciencia, pensamiento y cultura* 121/473: 67-83.
- (1986), “Problemas conceptuales de las nuevas tecnologías”, en A. Castilla et al. (comps.), *El desafío de los años 90*, Madrid, Fundesco, pp. 62-75.
- (1987), “Temas y problemas de la filosofía de la ciencia” (I y II), *Arbor: Ciencia, pensamiento y cultura* 501-502: 75-95 y 101-111.
- (1988), “Bases para la filosofía de la técnica: la estructura de los sistemas técnicos”, *Arbor: Ciencia, pensamiento y cultura* 507: 11-28.
- (1989), *Tecnología: Un enfoque filosófico*, Madrid, Fundesco.
- (1998), “Técnica y cultura”, *Teorema* XVII/3: 49-70 (también en Aibar y Quintanilla [2002], cap. 1).
- (1999), *Tecnología y sociedad*, Lima, Universidad Inca Garcilaso de la Vega.
- (2003), “Cuestiones de praxiología” (inédito).
- (2002a), “La democracia tecnológica”, *Arbor: Ciencia, pensamiento y cultura* 683: 637-652.
- (2012b), “El pensamiento científico y la ideología de izquierdas”, *Página Abierta* 218.
- (2017: próxima publicación) “Engaging Technologies: Criteria for an Alternative Model of Technological Development”, en B. Laspra y J. A. López Cerezo, *Contemporary Work from the Spanish Speaking Community*, The Philosophy of Engineering and Technology Book Series, Springer, Nueva York/Londres.
- , y D. Lawler (2000), “El concepto de eficiencia técnica”, en G. Denegri y G. E. Mar-

- tínez (comps.), *Tópicos actuales en filosofía de la técnica. Homenaje a Mario Bunge en su 80º aniversario*, Mar del Plata, Universidad Nacional de Mar del Plata, pp. 203-222.
- Rabi, I. (1965), "The Interaction of Science and Technology", en W. Warner *et al.* (comps.), *The Impact of Science on Technology*, Nueva York, Londres, Columbia University Press, pp. 10-20.
- Raphael, B. (1984), *El computador pensante. Introducción a la informática para psicólogos y humanistas* (versión original, San Francisco, W. H. Freeman, 1976), Madrid, Cátedra.
- Rapp, F. (comp.) (1974), *Contributions to a Philosophy of Technology*, Boston, D. Reidel.
- (1980), *Analytical Philosophy of Technology* (versión al español, Barcelona, 1981), Dordrecht, Reidel.
- (1982), "Philosophy of Technology", en G. Floistad (comp.), *Contemporary Philosophy*, vol. 2, La Haya, Boston, Martinus Nijhoff P., pp. 361-412.
- Reese, J., *et al.* (1982), *El impacto social de las modernas tecnologías de la información*, Madrid, Fundesco-Tecnos.
- Reuleaux, F. (1875), *Theoretische Kinematik*, Berlín.
- Richta, R. (comp.) (1969), *Civilization at the Crossroad* (versión original, Praga, 1967; versión al español: *La civilización en la encrucijada*, Madrid, Ayuso, 1971), Sidney, Australian Left Review Publications.
- Robinson, A. (comp.) (1983), *Tecnologías apropiadas para el desarrollo del Tercer Mundo* (versión original, 1979), México, FCE.
- Robinson, J. A. (1979), *Logic: Form and Function. The Mechanization of Deductive Reasoning*, Edimburgo, Edinburgh University Press.
- Rogers, C. F. C. (1983), *The Nature of Engineering. A Philosophy of Technology*, Londres, Macmillan.
- Ros, F. (1987), "Evaluación de la tecnología y política tecnológica", *Telos* 12: 58-64.
- Rosenberg, N. (1982), *Inside the Black Box: Technology and Economics*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Ryle, G. (1949), *The Concept of Mind*, Londres, Hutchinson.
- Sanmartín, J. (1987), *Los nuevos redentores. Reflexiones sobre la ingeniería genética, la sociobiología y el mundo feliz que nos prometen*, Barcelona, Anthropos.
- Sanz Menéndez, L. (1987), "La evaluación de la tecnología en España", *Telos* 12: 65-71.
- Schiller, H. I. (1986), *Información y economía en tiempo de crisis*, Madrid, Tecnos-Fundesco.
- Schumacher, E. F. (2011), *Lo pequeño es hermoso*, Akal, Madrid.
- Shoham, Y. (1987), "What is the Frame Problem?", en Frank M. Brown (comp.) (1987), *The Frame Problem in Artificial Intelligence*, Los Altos, California, Kaufmann, pp. 83-97.

- Simon, H. A. (1968), *The Sciences of the Artificial* (versión al español, Barcelona, ATE 1973), MIT.
- Singer, C. H., et al. (comps.) (1958), *A History of Technology*, Oxford University Press.
- Skolimowski, H. (1968), "Technology and Philosophy", en R. Klibansky (comp.), *Contemporary Philosophy*, Florencia.
- (1970), "The Problems of Truth in Technology", *Ingenior* 8: 5-7, 41-46.
- Smits, R., A. Leyten y J. L. A. Geurts (1987), "The Possibilities and Limitations of Technology Assessment", en *Technology Assessment: An Opportunity for Europe*, Ámsterdam, Ministerio de Educación, pp. 1-28.
- STOA (1988), *Criteria for the Assessment of European Fusion Research (STOA Fusion Project)*, 2 vols., Luxemburgo, Parlamento Europeo.
- Tobar-Arbulu, J. F. (1988), "Towards a Value Theory of Actions", *Revista Internacional de Estudios Vascos*.
- Tuininga, E. J. (1987), "El debate sobre la evaluación de la tecnología. ¿Dónde están los políticos?", *Telos* 12: 72-83.
- Turing, A. M. (1950), "Computing Machinery and Intelligence", *Mind*, vol. 59.
- UNESCO (1982), *Repercusiones sociales de la revolución científica y tecnológica*, Madrid, Tecnos.
- Valdivia, L., y E. Villanueva (comps.) (1988), *Los supuestos de la racionalidad de la tecnología*, México, UNAM.
- Vázquez, M. (1988), "Planificación y control en los sistemas artificiales", *Arbor: Ciencia, pensamiento y cultura* 507: 89-96.
- (1995), "En torno a los conceptos de modelo, sistema y simulación", en Broncano (comp.), *Nuevas meditaciones sobre la técnica*, Madrid, Trotta, pp. 81-100.
- Vega, J. (1996), "Epistemología de las técnicas: El problema del saber práctico y el conocimiento técnico", tesis doctoral, Universidad de Salamanca.
- Weizenbaum, J. (1976), *Computer Power and Human Reason: From Judgement to Calculation*, San Francisco (versión al español: *La frontera entre el ordenador y la mente*, Madrid, Pirámide, 1978).
- Wiener, N. (1960), *Cibernética*, Madrid, Guadiana.
- Wojciski, R. (1979), *Topics in the Formal Methodology of Empirical Sciences*, Dordrecht, Reidel.

ÍNDICE GENERAL

<i>Presentación a la segunda edición</i>	9
<i>Prólogo a la segunda edición. ¿Somos naturales o artificiales?</i> , Mario Bunge	11
<i>Prólogo a la primera edición</i>	15

Primera parte

TECNOLOGÍA: UN ENFOQUE FILOSÓFICO

<i>Prefacio</i>	21
I. <i>Problemas filosóficos de la tecnología</i>	25
1. De la técnica a la tecnología industrial	25
2. Las nuevas tecnologías	29
3. Tecnología y cultura	30
4. El ocio y la técnica	33
5. Mitos tecnológicos	36
6. El sentido de las teorías filosóficas	39
7. Tareas de la filosofía de la técnica	42
II. <i>Caracterización de la técnica</i>	46
1. La noción general de técnica	46
2. Técnica y conocimiento	52
3. Técnica, ciencia y tecnología	56
4. El desarrollo tecnológico	59
5. Tecnología y sociedad	61
III. <i>Fundamentos de la ontología de la técnica</i>	63
1. Sistemas	63
2. Estados y acontecimientos	65
3. Regularidades	66
4. Propiedades y clases de acontecimientos	68
5. Sistemas complejos y acciones entre sistemas	69

6. Propiedades y tipos de acciones	73
7. Acción intencional	74
8. Cooperación	76
9. Artefactos	77
IV. <i>La estructura de los sistemas técnicos</i>	81
1. Sistemas técnicos	81
2. Técnicas	83
3. Variantes y modificaciones de una técnica	85
4. Partes de una técnica	86
5. Tipos de técnicas	89
6. Máquinas y técnicas complejas	94
7. Aplicaciones y usos de una técnica	99
V. <i>Diseño y evaluación de tecnologías</i>	102
1. La “lógica” del diseño tecnológico	103
2. El modelo de la explicación científica	105
3. Modelos de inteligencia artificial	108
4. Invenciones y proyectos	112
5. La evaluación tecnológica	114
6. Eficiencia y control	116
7. El progreso tecnológico	120
VI. <i>El desarrollo tecnológico</i>	126
1. Programas de I+D	128
2. Idoneidad y consecuencias	132
3. Evaluación de tecnologías y decisiones políticas	136
<i>Anexo. Formalismos de la teoría de sistemas y de los sistemas de acciones</i>	140
1. Sistema abstracto	140
2. Sistema concreto	140
3. Representación de un sistema	140
4. Otras nociones de la teoría de sistemas	141
5. El concepto de acción	145
6. Acción elemental	145
7. Suma de acciones de S	146
8. Producto de acciones sobre S	146

9. Producto relativo de acciones	147
10. Sistema de acciones	147

Segunda parte

OTROS ENSAYOS

DE FILOSOFÍA DE LA TECNOLOGÍA

VII. <i>Veinte años después.</i>	151
1. Tres enfoques en el estudio de la técnica	152
2. Tres partes de la filosofía de la técnica	154
3. Un programa para la filosofía de la técnica	155
4. La noción de sistema técnico	157
5. El conocimiento técnico	160
6. Valores tecnológicos	161
7. Otras aportaciones a la filosofía de la tecnología en España	163
VIII. <i>La construcción del futuro</i>	166
1. La complejidad del sistema conformado por la ciencia, la tecnología y la industria	168
2. Modelos de desarrollo científico y técnico	170
3. Problemas e inquietudes	173
4. El crecimiento científico	174
5. Paradigmas tecnoeconómicos	175
6. Un modelo integrado del cambio tecnológico	177
7. Construir el futuro	179
IX. <i>La tecnología como paradigma de acción racional</i>	182
1. Averroes, Newton y el retrato de Dorian Grey	182
2. Una visión postkuhniana de la racionalidad científica	185
3. Una formulación estándar de la racionalidad epistémica	187
4. La técnica como paradigma de la racionalidad práctica	189
5. Rendimiento económico y eficiencia técnica	192
X. <i>La racionalidad instrumental</i>	197
XI. <i>Una ética para el desarrollo tecnológico</i>	205

XII.	<i>Tipos de conocimiento tecnológico y gestión de la innovación</i>	210
	1. Clases de conocimiento técnico	211
	2. Tres concepciones de la innovación tecnológica	214
XIII.	<i>Cultura tecnológica e innovación</i>	217
	1. La innovación tecnológica	220
	2. Factores culturales de la innovación	224
XIV.	<i>Educación y cultura tecnológica</i>	230
	1. Diversidad cultural y cultura tecnológica	231
	2. El valor de la cultura tecnológica	233
	3. Bienestar social y desarrollo tecnológico	237
	4. Educación tecnológica y tecnología educativa	238
XV.	<i>Integración cultural e innovación técnica (Una lección de la historia de España en la Edad Moderna)</i>	240
XVI.	<i>Recetas para hacer real otro mundo posible</i>	249
	1. Tecnologías y formas de vida	250
	2. Alternativas tecnológicas y tecnologías alternativas	251
	3. Recetas para un mundo globalizado	256
	4. Para terminar, pensando en el futuro	260
	5. <i>Adendum</i> sobre tecnologías entrañables	261
	<i>Referencias bibliográficas</i>	263

La tecnología tiene un impacto decisivo en la sociedad ya que modifica la realidad, nuestras pautas de comportamiento y nuestros sistemas de valores: transformaciones que constituyen un campo de gran interés para los estudios filosóficos tanto por las repercusiones sociales y económicas del desarrollo tecnológico, como por sus implicaciones éticas y políticas. En la primera parte de este libro se propone un marco general para el estudio filosófico de la tecnología y el desarrollo tecnológico; la segunda parte presenta diversos ensayos orientados al avance en la comprensión de la naturaleza y el valor de la tecnología para la humanidad. En esta nueva edición se incorpora un prólogo del destacado filósofo Mario Bunge y se incluye el capítulo “Recetas para hacer real otro mundo posible” que enfatiza la importancia de crear modelos alternativos de desarrollo tecnológico y de políticas científicas para la construcción de un mundo distinto.

CIENCIA, TECNOLOGÍA, SOCIEDAD

