

CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD EN EL MUNDO CONTEMPORÁNEO

F. Javier Rodríguez Alcázar

Universidad de Granada

ÍNDICE

1. El siglo XX y las nuevas dimensiones de la ciencia y la tecnología
2. Los cambios en la reflexión sobre la ciencia, la tecnología y las relaciones de éstas con la sociedad
aciones entre la ciencia y la tecnología: “ciencias teóricas”, “ciencia aplicada” y “tecnociencia”
 - 2.2. El debate sobre la “neutralidad científica”
 - 2.3. Las tecnologías como algo más que meros instrumentos
 - 2.4. La influencia social y el progreso científico-tecnológico: de la necesidad a la contingencia
3. La institucionalización de la ciencia y la tecnología: del siglo XIX al XX
4. La militarización de la tecnociencia y el papel de los estados en la financiación de la I+D
 - 4.1. La Primera Guerra Mundial y las armas químicas
 - 4.2. La Segunda Guerra Mundial y las armas nucleares
 - 4.3. La “guerra fría” y las prioridades en I+D
5. La evaluación de tecnologías y la política pública en I+D
 - 5.1. Un caso especialmente sensible: las biotecnologías
 - 5.2. Evaluación de tecnologías
 - 5.3. Modelos de participación social

BIBLIOGRAFÍA

1. El siglo XX y las nuevas dimensiones de la ciencia y la tecnología

La ciencia y la tecnología se cuentan entre los logros socialmente más prestigiosos de nuestra especie. A estas alturas, pocas estrategias pueden competir con la ciencia y la tecnología contemporáneas a la hora de satisfacer las necesidades y los deseos de los seres humanos. Pero esta destacada posición ha sido ocupada por la ciencia y la tecnología muy recientemente. Pues, si bien llegar a ese escenario ha llevado siglos de preparación, ha sido a lo largo del siglo XX cuando las distintas disciplinas científicas han hecho posible un conocimiento del mundo natural y social que siglos atrás hubiera resultado tan impensable como la capacidad de control y transformación de la naturaleza que ha alcanzado la tecnología contemporánea.

Ahora bien, esta época de máximo desarrollo científico y tecnológico no ha traído la solución automática de los grandes males de la Humanidad que auguraban algunos profetas pasados del progreso científico, desde Francis Bacon hasta Julio Verne. De hecho, la imagen de la ciencia y la tecnología podía ser con mayor facilidad una visión triunfante justamente cuando el progreso tecno-científico tenía mucho más de promesa que de realidad. En cambio, cuando hemos conocido ese progreso de forma más tangible, esto es, a lo largo del siglo XX, la fe incondicionada en la solución de los problemas humanos mediante el conocimiento científico se ha ido debilitando. Naturalmente, la utopía de un mundo libre de penurias gracias a la ciencia sigue teniendo sus profetas y sus crédulos. Pero éstos comparten ya el estrado y el patio de butacas con legiones de recelosos, afectados, en grados diversos, por el síndrome de la desconfianza. A comienzos del siglo XXI, es frecuente que la ciencia y la tecnología se ven vistas no sólo como la solución a los problemas humanos, sino también como causas de algunos de ellos.

En este capítulo se van a presentar algunas de las reflexiones provocadas por la ciencia y la tecnología contemporáneas, por sus grandes logros y también por sus paradojas y riesgos. Es evidente que el recorrido por la tecnociencia del siglo XX no puede ser exhaustivo, pues incluso una breve presentación de las principales líneas de investigación de cada una de las disciplinas científicas y

tecnológicas contemporáneas requeriría varios volúmenes para completarse. La pretensión de estas páginas es más bien ilustrar, con ayuda de algunos ejemplos paradigmáticos, los rasgos más destacados de la tecnociencia contemporánea, así como algunas de las principales reflexiones filosóficas y controversias sociales que aquélla provoca. El retrato ofrecido pretende ser ecuánime y proporcionar una reconstrucción que evite tanto las ilusiones infundadas como los miedos, a veces excesivos, que la moderna tecnología despierta pendularmente. También recoge algunas propuestas desarrolladas en los últimos años para la evaluación de tecnologías y para la participación ciudadana en las políticas públicas de investigación y desarrollo (I+D), unas propuestas que apuntan hacia una relación más madura de la sociedad con la ciencia y la tecnología. Esa relación, en efecto, no puede ya descansar sobre la confianza acrítica en la capacidad de la ciencia para resolver todos los problemas de diverso tipo (ambientales, demográficos, sanitarios, etc.) que enfrenta la Humanidad, ni tampoco en la desconfianza sistemática, sino en la capacidad de orientar cada vez más las prioridades de la investigación científico-tecnológica hacia la satisfacción generalizada de las necesidades humanas básicas y hacia la realización de los intereses mayoritarios de los ciudadanos.

Con independencia del juicio, optimista o pesimista, que a cada cual nos provoquen las consecuencias sociales de la ciencia y la tecnología en la época actual, lo cierto es que las estimaciones con respecto a la importancia social presente y futura de aquéllas tienden a quedarse cortas casi siempre. Si todavía hoy realizáramos una encuesta entre los ciudadanos cultos de nuestro mundo, pidiéndoles que mencionaran algunos de los acontecimientos más destacados del siglo XX, seguramente la mayoría se referirían a hechos innegablemente importantes como las dos guerras mundiales, la Revolución Soviética de 1917 o la salida de los seres humanos al espacio. Pero la gran mayoría de esos ciudadanos pasarán seguramente por alto todavía un hecho que quizás sitúen en su justo lugar los encuestados dentro de unas décadas: el siglo XX ha sido el siglo en el que la ciencia pasó de ser una ocupación minoritaria y con escasa repercusión social a convertirse en la institución con mayor capacidad para cambiar la vida humana y la realidad social, por encima de otras tan bien establecidas como las iglesias y los estados. No

es necesario hacer demasiada violencia a los términos para afirmar que el sistema ciencia-tecnología se está convirtiendo en una destacada institución *política* y en uno de los principales orígenes del *poder*. Así, la supremacía científico-tecnológica se está convirtiendo paulatinamente en la clave principal para explicar las diferencias de riqueza entre los países, desplazando a fuentes tradicionales de poder nacional como el territorio o las materias primas. Un país como Argentina, que ofrecía en las primeras décadas del siglo pasado unas perspectivas inmejorables vinculadas a su condición de “granero del mundo”, no podría aspirar hoy a reconstruir su envidiable posición económica de entonces sobre las mismas bases (esto es, la explotación de los recursos, principalmente agrícolas y ganaderos), por muy laboriosa, honesta y acertadamente que sus dirigentes se aplicaran a la tarea. De forma semejante, aunque todavía hoy los productores de petróleo son mirados con envidia por el resto, la riqueza de los países poseedores de materias primas se convertirá en un pasajero espejismo si sus gobernantes no aprovechan los tiempos de la bonanza económica para invertir en la formación de investigadores y en la creación de empresas capaces de generar I+D propia. Aunque es previsible que el petróleo siga desempeñando un importante papel económico y estratégico durante algunas décadas más, el desarrollo de tecnologías capaces de aprovechar recursos abundantes en todo el Planeta, como el hidrógeno, el sol, el viento y la biomasa (en este último caso con la aplicación, entre otras innovaciones, de la moderna biotecnología de plantas), tornará cada vez más secundaria la cuestión de quién tiene las fuentes en su territorio y más decisiva la de quién posee el conocimiento para transformarlas en energía, para mejorar la eficiencia en su uso y para reducir al mínimo las emisiones contaminantes y los residuos generados por el proceso.

La ciencia y la tecnología han adquirido, pues, unas dimensiones sociales sin precedentes que exigen una renovación de la reflexión en torno a ellas. La filosofía de la ciencia reaccionó de forma tardía y limitada, al concentrarse en principio sobre las consecuencias epistemológicas que planteaban acontecimientos, ubicados en el limbo de la “ciencia pura”, como la sustitución de la mecánica newtoniana por las teorías de Einstein o la aparición de la mecánica cuántica. Se resistió, sin embargo, hasta bien entrado el siglo a hacer un hueco en su agenda para otras ramas de la ciencia, como la biología,

y para el estudio de la práctica científica. La ética ha tardado, asimismo, en renovar su discurso y, al tiempo que examinaba con lupas del pasado, cuando no eclesiásticos anteojos, el papel de las modernas tecnologías en asuntos como la fecundación *in vitro* o la píldora abortiva, dejaba pasar, con algunas notables excepciones a la regla de la miopía general, cuestiones como la relación entre nuevas tecnologías y degradación ambiental, la conexión de aquéllas con la desigualdad humana, la militarización de la I+D o las amenazas tecnológicas a los derechos de las generaciones futuras. Por su parte, la filosofía de la tecnología ha subsistido hasta el momento presente como una pariente pobre de la reflexión filosófica, en llamativo contraste con la omnipresencia y la creciente importancia social de su objeto de estudio.

En las últimas décadas del siglo XX, la respuesta académica a las nuevas dimensiones de la ciencia y la tecnología en la sociedad han desembocado en la aparición de un campo interdisciplinar de reflexión conocido como “Estudios sobre ciencia, tecnología y sociedad” (o, abreviadamente, “Estudios CTS”). En él han confluído las aportaciones de disciplinas con importantes diferencias en cuanto a sus metodologías y a la concepción de sus respectivos objetos de estudio: la historia de la ciencia, la historia de la tecnología, la sociología de la ciencia, la sociología de la tecnología, la filosofía de la ciencia, la filosofía de la tecnología y hasta la antropología. Bien es verdad que hasta el momento este campo no ofrece tanto una genuina interdisciplinaridad cuanto una yuxtaposición de tradiciones y especialidades que han desarrollado sus investigaciones, en demasiadas ocasiones, sin atender suficientemente a los hallazgos de las demás. Pero en los últimos años se ha comenzado a reivindicar la conveniencia de una genuina convergencia de tradiciones y a iniciarse algunas experiencias de comunicación transdisciplinaria (cfr. González García *et al.*, 1996). En el apartado siguiente resumimos algunas de las principales conclusiones que este heterogéneo movimiento académico de los Estudios CTS nos ha legado con respecto a las relaciones que la ciencia y la tecnología mantienen entre sí y el papel de ambas en las sociedades contemporáneas. Esas conclusiones nos proporcionarán el marco teórico de partida para abordar, en apartados sucesivos, el estudio de algunos escenarios de la tecnociencia contemporánea.

2. Los cambios en la reflexión sobre la ciencia, la tecnología y las relaciones de éstas con la sociedad

Varias tesis relativas a la ciencia, a la tecnología y al papel social de ambas han pasado a lo largo del siglo XX del *status* de obviedades casi incuestionadas al de ideas, cuando menos, discutidas y problemáticas. Aquí se van a mencionar únicamente cuatro de ellas, que parecen de particular importancia. En primer lugar, la reducción de la tecnología a “ciencia aplicada”. En segundo lugar, el dogma de la “neutralidad” científica. La tercera doctrina es la concepción “instrumental” de las tecnologías. Por último, la concepción del avance científico y el progreso tecnológico como caminos necesarios que obedecen únicamente a sus propias reglas y criterios. En los cuatro puntos siguientes se expondrá cómo cada una de esas convicciones ha ido siendo sustituida por su contraria, al menos en algunos círculos de la reflexión académica sobre la ciencia y la tecnología.

2.1. Las relaciones entre la ciencia y la tecnología: “ciencias teoréticas”, “ciencia aplicada” y “tecnociencia”

Las relaciones entre la ciencia y la técnica han variado históricamente, y también han cambiado las concepciones filosóficas de esas relaciones. Una de las actitudes filosóficas paradigmáticas en el pasado fue la de Aristóteles, que en diversos pasajes nos urge a valorar más el conocimiento cuanto menor sea su relación con las necesidades materiales de la vida. El ideal aquí es el de la ciencia “teorética”, esto es, aquella cuya finalidad es mejorar nuestro conocimiento, no nuestra práctica. Así, en unas conocidas líneas de la *Metafísica*, 980a, Aristóteles establece una jerarquía cuyo lugar más bajo ocupan los trabajadores manuales, que no conocen las causas de los objetos que producen. Por encima de ellos se sitúan los maestros de cada arte, que sí las conocen. De entre estos últimos, Aristóteles atribuye

un lugar más elevado a aquellos cuyas artes son puramente recreativas, aquellas que no sirven a utilidad alguna. Más elevadas aún son, sin embargo, las ciencias, que no perseguirían ninguna finalidad fuera de ellas mismas. Pues para Aristóteles el objetivo del conocimiento científico no es contribuir a la satisfacción de las necesidades vitales, ni siquiera procurarnos el placer que nos proporcionan las artes recreativas. Del mismo modo que, señala Aristóteles en *Metafísica*, 982b, llamamos libre a aquel ser humano que trabaja para sí y no en beneficio de otro, también merecen considerarse libres aquellas ciencias que sólo existen en función de sí mismas. Por otra parte, la conexión entre los humanos más privilegiados y las ciencias más elevadas no es accidental: por algo, apunta Aristóteles, ciencias “inútiles” como las matemáticas fueron fundadas en Egipto, cuando una casta sacerdotal ociosa pudo entregarse a su cultivo.

Ahora bien, mientras que no caben demasiadas dudas acerca de la opinión filosófica más influyente en la Antigüedad sobre la utilidad de la ciencia, la situación es algo más compleja en lo que se refiere al efectivo uso práctico del conocimiento científico en la cultura ática y en el mundo helenístico. Existe, ciertamente, una tradición científico-teorética que da la espalda a la aplicabilidad práctica de la ciencia, una tradición de la que es representativa la cosmología aristotélica de esferas homocéntricas, tan consistente desde el punto de vista de la explicación de las causas de los movimientos celestes como escasamente sensible a ciertas inexactitudes predictivas que limitaban drásticamente su utilidad en terrenos como la agricultura o la navegación. Pero, como ha señalado Pérez Sedeño (1986), esta tradición cosmológica más especulativa convivía con otra, estrictamente astronómica, más empírica, más preocupada con la necesidad de proporcionar predicciones precisas que fueran de utilidad para propósitos técnicos como la elaboración de calendarios y la navegación en alta mar. Esta tradición nunca desapareció completamente y proporcionó, junto con el precedente de la astronomía babilónica, también marcadamente empirista, el punto de partida de la astronomía helenística, sistematizada ya en el siglo II después de Cristo por Claudio Ptolomeo. La tradición astronómica ptolemaica alcanzó, a lo largo de los siglos, notables grados de precisión y acierto predictivo, lo que hacía de ella, ciertamente, un instrumento

no despreciable para diversos usos prácticos. Ahora, bien, pocos ejemplos más podrían encontrarse de un conocimiento genuinamente científico con aplicaciones técnicas a lo largo de los mundos clásico y medieval. Durante esos siglos, los progresos en el conocimiento del mundo natural no parecían ofrecer más recompensa que la satisfacción de la curiosidad de los sabios, en tanto que las innovaciones técnicas eran obra del ingenio y la experiencia acumulada de los artesanos. Esas innovaciones se producían lentamente, por ensayo y error, a falta de un conocimiento sistemático de los procesos básicos subyacentes. Los sucesivos diseños del arado, la invención de la pólvora y de la ballesta o el desarrollo de las técnicas de navegación que facilitaron la exploración del Nuevo Mundo se produjeron prácticamente sin el concurso del conocimiento considerado científico por las elites intelectuales de las épocas respectivas.

Cuando, ya a caballo entre los siglos XVI y XVII, Francis Bacon, con un espíritu que quiere situarse en las antípodas del aristotélico, justifica el valor de la ciencia por el dominio técnico que proporciona a los seres humanos sobre la naturaleza, esa contribución de la ciencia está aún muy lejos de producirse aún de forma generalizada. El lema baconiano que invita a conocer científicamente la naturaleza para dominarla queda, en su época, como un programa que sólo se realizará mucho más tarde. Aparte de episodios más o menos aislados (como el uso por Franklin los resultados de la “revolución científica” del XVII para la invención del pararrayos), hay que esperar a la segunda mitad del siglo XIX y, sobre todo, al siglo XX para asistir a una aplicación cuantitativamente significativa de los descubrimientos científicos al ámbito técnico.

Todavía a finales del siglo XIX se podían encontrar figuras como la de T.A. Edison, un individuo creativo que, a pesar de una escasa instrucción científica, era capaz de realizar invenciones de importancia. Pero estas figuras fueron cada vez más raras y confinadas a invenciones de segunda fila. Las grandes innovaciones del siglo XX han sido obra, en la mayoría de los casos, de ingenieros (habitualmente en equipo) con una sólida formación científica. Por fin parecía llegado, pues, el momento de ver realizado el viejo programa baconiano del dominio humano sobre la naturaleza mediante el

conocimiento científico de ésta. La receta para conseguir ese dominio consistiría en una *aplicación* a los problemas técnicos, por parte de los ingenieros, del conocimiento científico previamente acumulado como resultado de la investigación desinteresada. De esta forma, se estableció la distinción entre la ciencia “pura”, en la que era posible reconocer el ideal aristotélico de los investigadores que buscan el conocimiento por el conocimiento, y la ciencia “aplicada”, la tecnología desarrollada por los ingenieros, utilizando el conocimiento científico disponible, para satisfacer las necesidades de la industria.

Sin embargo, este nítido reparto de tareas se fue haciendo más difícil de establecer conforme avanzaba el siglo XX y, con él, la importancia económica y social de la tecnología desarrollada con ayuda del conocimiento científico. En el mundo contemporáneo, la mutua dependencia entre ciencia y tecnología ha llegado a ser tan estrecha que el estudio de una u otra por separado, así como el intento de trazar una distinción tajante entre las dos, resultan inadecuados en muchos casos. Por un lado, la ciencia es “tecnológicamente dependiente”, en tanto en cuanto sus propias investigaciones dependen en la mayoría de los casos del previo desarrollo de un instrumental complejo y específico. Por otro, costosas investigaciones científicas se emprenden, en muchos casos, sólo después de justificarse socialmente por sus previsible utilidades tecnológicas. Así, un proyecto que, con la terminología tradicional, tenderíamos a clasificar como perteneciente al ámbito de la ciencia “pura”, como es el *Proyecto Genoma Humano*, ha conseguido movilizar un enorme número de equipos humanos y recursos económicos en buena medida gracias a que se ha presentado como fuente de conocimientos que permitirán el desarrollo de utilidades diversas por parte de actores como la industria farmacéutica (para una breve presentación del Proyecto, cfr. Hilgartner, 1995) . Por estas razones, numerosos autores prefieren utilizar en ocasiones el término *tecnociencia* como categoría analítica antes que hablar de ciencia y tecnología como realidades separables. La realidad de la tecnociencia en nuestro mundo contribuye, por cierto, a hacer más claramente insostenible el ideal de *neutralidad científica* que, como comprobaremos en el apartado siguiente, intenta presentar a la ciencia como una búsqueda desinteresada del conocimiento por el conocimiento.

2.2. El debate sobre la “neutralidad científica”

La doctrina (que algunos, como Proctor, 1991, no dudan en calificar como “mito”) de la neutralidad de la ciencia se ha presentado con diversas formulaciones y ha desempeñado históricamente funciones diversas. Uno de los episodios históricos más significativos en la formación de esta doctrina se produjo con el establecimiento, en el siglo XVII, del *Royalist Compromise* (“Compromiso realista”) entre el rey de Inglaterra y los miembros de la *Royal Society* de Londres. En virtud de ese pacto, el primero concedía a los segundos libertad para opinar, comunicarse y publicar sus ideas, a cambio de que los científicos renunciaran a ocuparse de cuestiones políticamente sensibles. En palabras de Robert Hooke, uno de los miembros más distinguidos de la Sociedad, esas cuestiones incluían la Teología, la Metafísica, la Moral, la Política, la Gramática, la Retórica y la Lógica. De esta forma, la ciencia natural ganaba el derecho a no verse coartada por los poderes político y eclesiástico. Al mismo tiempo, impedía la reproducción en su interior de las guerras de religión que asolaban Europa en aquella época.

Ya en el siglo XX, el filósofo austriaco Ludwig Wittgenstein contribuyó a formular con mayor precisión el ideal de neutralidad científica mediante la estricta distinción entre hechos y valores que ofrece en su *Tractatus Logico-Philosophicus* (1921). De acuerdo con Wittgenstein, la ciencia natural es el conjunto de las proposiciones verdaderas sobre el mundo, entendido como la totalidad de los hechos. Ahora bien, “en el mundo todo es como es y sucede como sucede: en él no hay ningún valor” (*Tractatus*, proposición 6.41) y, por tanto, la ciencia no puede contener juicios de valor.

Esta cruda formulación de la tesis de la neutralidad olvida la presencia de, al menos, un tipo de valoraciones en la ciencia. Pues, en efecto, las teorías científicas son juzgadas y comparadas de acuerdo con criterios como su capacidad explicativa, su acierto predictivo o su simplicidad. Es frecuente referirse a estos criterios como *valores epistémicos* (ésta es, por ejemplo, la terminología empleada por Laudan, 1984). Con ellos, los juicios de valor entrarían inevitablemente en la ciencia. Ahora bien, la tesis de la

neutralidad científica parecería, con todo, poderse poner fácilmente a salvo con ayuda de una leve reformulación. Podría, en efecto, admitirse la presencia de juicios de valor en la ciencia, pero *sólo* de juicios relativos a esos valores epistémicos y no a valores de otros tipos (como los morales) que, de acuerdo con los defensores de la neutralidad, deberían considerarse externos a la ciencia. Naturalmente, los defensores de la doctrina de la neutralidad admitirán sin dificultad que, en ocasiones, valores morales y otros elementos “externos” han condicionado la actividad y los resultados científicos. Pero cuando tal cosa ha ocurrido deberíamos considerar tales episodios como ejemplos de “mala ciencia”. La buena práctica científica habría excluido en el pasado (y debería excluir, en cualquier caso) todo criterio de evaluación teórica y metodológica más allá de los valores estrictamente epistémicos.

Éste es el sentido de neutralidad científica que defendieron, para las ciencias sociales, Max Weber y otros sociólogos alemanes en el paso del siglo XIX al XX. Según Weber, los problemas abordados por las disciplinas empíricas, incluidas las ciencias sociales, son problemas fácticos y han de recibir una respuesta “libre de valores”. Incluso cuando la sociología se ocupa de los valores vigentes en la sociedad debe tratarlos como hechos, como aquellos valores que son aceptados, *de facto*, por los individuos y los grupos sociales, sin pronunciarse acerca de la validez de los valores o normas que describe. Como manifestó paradigmáticamente Ferdinand Tönnies, uno de los compañeros de Weber:

Como sociólogos no estamos ni a favor ni en contra del socialismo, ni a favor ni en contra de la extensión de los derechos de las mujeres, ni a favor ni en contra de la mezcla de razas (citado por Proctor, 1991).

De este modo, la defensa de la sociología científica por parte de Weber y otros se convirtió en un alegato en favor de una ciencia neutral, entendida como una ciencia libre de valores morales y políticos. Al igual que en el caso de la ciencia natural del siglo XVII, también ahora el ideal de neutralidad cumple una función social: los sociólogos del grupo de Weber pretendían ganar respetabilidad académica para su

disciplina y, de paso, conseguir que las autoridades les dejaran trabajar en paz. Debe tenerse en cuenta que, en aquella época, la teoría sociológica estaba dominada por los sociólogos marxistas hasta el punto de que la policía prusiana confundía a los sociólogos con socialistas.

Con el correr del siglo XX, y tras la creciente documentación de la influencia de intereses y otros factores sociales sobre la práctica científica, los defensores del ideal de la neutralidad se vieron obligados a distinguir cuidadosamente entre la descripción de esa práctica científica (lo que H. Reichenbach, 1938, llamó el “contexto de descubrimiento”) y la cuestión de la validez del conocimiento científico resultante de esa práctica (el “contexto de justificación”, siguiendo con la misma terminología). La aspiración a la neutralidad renunció a eliminar valores e intereses prácticos de la actividad científica para contentarse con salvaguardar de su influencia a la evaluación de las teorías científicas. De esta forma, la versión más matizada de la doctrina de la neutralidad científica vendría a sostener que la validez de los resultados de la investigación científica sólo se establece y debe establecerse con respecto a un(os) determinado(s) valor(es) epistémico(s) y es independiente de todo valor práctico.

¿Pero es posible sostener esta versión matizada de la doctrina de la neutralidad? ¿Es posible reconocer la presencia de valores epistémicos en la evaluación del conocimiento científico al tiempo que se niega cualquier papel a los valores prácticos? Tras constatar que los valores epistémicos predominantes cambian de una época a otra y también de un contexto a otro de la ciencia (cfr. Echeverría, 1995), diversos historiadores y sociólogos de la ciencia han defendido que la explicación de la elección de valores epistémicos viene dada por intereses y valores prácticos. A esto han añadido algunos filósofos y filósofas de la ciencia, como Helen Longino (1990) y Kristin Shrader-Frechette (1989), que esa dependencia no se da sólo en la práctica científica, en el “contexto de descubrimiento”, sino también en el de la justificación. De este modo, la tesis de la neutralidad científica es puesta en duda tanto en el plano fáctico como en el normativo: cómo se lleva a cabo la evaluación de las creencias científicas depende, de hecho, de ciertas opciones previas con respecto a valores no exclusivamente epistémicos.

Ahora bien: si es cierto que la construcción de la ciencia depende en algún grado de elecciones

con respecto a valores y objetivos prácticos (fundamentalmente morales y políticos), la pregunta fundamental es cuáles deben ser esos valores. En otras palabras: una vez que se rechaza por imposible el ideal de la neutralidad científica, la “buena” ciencia no será ya aquella que esté libre de valores, sino aquella que, entre otros requisitos, esté orientada hacia valores que podamos considerar moralmente superiores. Ésta puede ser, sin duda, una de las aportaciones más destacadas de la teoría ética a la reflexión filosófica contemporánea, para lo cual deberá confluír en un diálogo interdisciplinar con la filosofía de la ciencia.

2.3. Las tecnologías como algo más que meros instrumentos

La visión más optimista de la tecnociencia es aquella según la cual sus consecuencias son inevitablemente beneficiosas para los seres humanos. En otras palabras, cualquier innovación tecnológica significa un progreso. Por tosca que esta visión del progreso tecnológico pueda parecer, ha sido abrumadoramente predominante en décadas pasadas y todavía goza de considerable predicamento. (Para una crítica pionera de estos puntos de vista, cfr. Mumford, 1934 y 1967).

La destacada intervención de la tecnología en determinados acontecimientos que han producido consternación la opinión pública (guerras mundiales, incidentes nucleares, fugas tóxicas, etc.) obligó a matizar este optimismo tecnológico y sustituirlo en muchos casos por un acercamiento que pretendía ser más equilibrado. De acuerdo con éste, las tecnologías serían meras herramientas, meros instrumentos al servicio de cualesquiera fines. Nos ayudan a realizar las actividades que queremos realizar con mayor eficacia que si no dispusiéramos de ellas, pero el juicio que nos merezcan esas actividades es independiente de la presencia o no de las tecnologías en su ejecución. De acuerdo con la archiconocida parábola, del mismo modo que un cuchillo puede utilizarse tanto para asesinar como para cortar pan, cabe utilizar en general las tecnologías con muy diversos fines, sin que la responsabilidad por los usos deba

recaer ni sobre el artefacto mismo ni sobre quienes lo diseñaron. En definitiva, no habría nada problemático con respecto a las tecnologías; únicamente sería problemático el *uso* que socialmente se haga de ellas.

Un problema de esta imagen más “ecuánime” de las tecnologías es que la mayoría de las tecnologías contemporáneas no son tan flexibles en su uso como lo son artefactos relativamente simples como un cuchillo, una piedra o un martillo. Todos éstos pueden usarse para inofensivas tareas domésticas o para agredir a alguien; pero son precisamente aquellas tecnologías más complejas y sofisticadas, aquellas que han precisado el concurso de la ciencia moderna y requieren formas avanzadas de organización social para su diseño, producción y utilización, las que menos flexibilidad permiten en su utilización: ni los tanques Leopard son utilizables para el transporte escolar, ni las centrales nucleares permiten cualquier forma de gestión, ni las semillas transgénicas pueden cultivarse de cualquier forma. En todos estos casos puede decirse que el diseño de los artefactos condiciona su uso de forma decisiva.

Como alternativa a esta concepción “instrumental” se ha desarrollado a lo largo del siglo XX lo que autores como Feenberg (1991) llama la concepción “sustantiva” de las tecnologías. Esta concepción, cuyo representante actual más conocido quizás sea el filósofo norteamericano de la tecnología Langdon Winner, está influida por autores como Jacques Ellul y Martin Heidegger. En la versión de Winner (1987), las tecnologías no son simples medios para las actividades humanas, sino que las modifican y les dan nuevos significados. De ahí que Winner considere a las tecnologías como “formas de vida” (utilizando una expresión tomada de las *Investigaciones filosóficas* de Wittgenstein). Así, por ejemplo, la importancia de la tecnología informática no se ha limitado a ayudarnos a hacer con mayor eficacia, rapidez o pulcritud las mismas cosas que hacíamos antes (escribir a máquina, calcular, ordenar la información). En las últimas décadas, la informática ha modificado radicalmente la forma en que algunos trabajos se realizan, ha hecho desaparecer ciertos trabajos (por ejemplo, determinadas ocupaciones en las imprentas), ha dado lugar a otros nuevos (programadores, administradores de red), ha destruido y creado puestos de trabajo y, finalmente, ha modificado nuestra vida cotidiana y ha cambiado las relaciones

humanas: ahora es posible obtener dinero, a través de un cajero automático, a cualquier hora sin necesidad de hablar con nadie, es posible mantener conversaciones a través del ordenador con varios desconocidos que teclean en lugares muy distantes... o es imposible conseguir que el empleado del banco atienda nuestra petición, a pesar de haber efectivo en la caja y conocernos personalmente, si se ha perdido la conexión con el ordenador central. Sobre las complejas interacciones entre los ordenadores y la sociedad, cfr. Edwards (1995).

2.4. La influencia social y el progreso científico-tecnológico: de la necesidad a la contingencia

Parecería que, descartada una visión puramente instrumental de las tecnologías, estaríamos condenados de nuevo a una visión determinista como la que presentábamos al comienzo del apartado, sólo que ahora el pesimismo generalizado habría ocupado el lugar del optimismo acrítico propio de aquella: ¿pues no es un panorama desolador aquél en el cual nuestra forma de vida está determinada, constituida por unos artefactos que no hemos elegido individualmente y cuyas leyes nos son ajenas? Parecería, en efecto, como si las tecnologías obedecieran únicamente a una especie de lógica interna implacable y a los seres humanos sólo nos quedara conformarnos con sus consecuencias. Si tuvieran razón quienes favorecen la lectura optimista de este determinismo tecnológico, sólo habría que esperar a ver cómo las tecnologías van mejorando inexorablemente las condiciones de vida de los seres humanos. De quedarnos con la versión pesimista, tendríamos que afrontar una elección extrema entre regresar a un mundo pre-tecnológico y resignarnos a un servil sometimiento a la tecnología y sus presuntamente deshumanizadoras consecuencias.

El determinismo tecnológico renuncia a adaptar la tecnología a las necesidades sociales. En su versión optimista, es justamente la organización social la que ha de adaptarse a la tecnología, como forma de minimizar los posibles inconvenientes. En la versión pesimista, los propósitos a los que sirve la tecnología son esencialmente incompatibles con los valores dignos de ser socialmente perseguidos.

Ahora bien: por suerte, descartar por ingenua la visión instrumental de las tecnologías no nos compromete necesariamente con el determinismo tecnológico. Existen, de hecho, buenas razones para ponerlo en cuestión. En primer lugar, no hay pruebas concluyentes de que la tecnología pueda considerarse el determinante principal de los cambios sociales (cfr. González García *et al.*, 1996,135); quizás, pues, frente a la visión de una tecnología completamente “autónoma”, tenga todavía sentido hablar de un cierto grado de autonomía de la sociedad frente a la tecnología. En segundo lugar, los estudios sobre la construcción social de las tecnologías muestran que cualquier artefacto puede modificarse, en principio, de formas muy diversas y que depende de decisiones sociales el que sólo determinadas modificaciones de entre las posibles se realicen efectivamente mientras que otras muchas se descartan. Para algunos ejemplos de cómo intervienen factores sociales en la invención tecnológica, cfr. Bijker (1995a), (1995b) y (1997), Edwards (1995), Mackenzie y Wacjman (eds.) (1999) y Bijker y Law (eds.) (1992).

Así pues, aunque no cualquier tecnología valga para cualquier uso, tampoco parece correcto afirmar que todas las tecnologías hayan de ser intrínsecamente perversas ni que todas hayan de ser intrínsecamente beneficiosas. Porque quizás quepa pensar en la posibilidad de *construir* cada tecnología de más de una forma y preguntarnos en cada caso cuál de los posibles diseños nos conviene más. Dejando atrás, pues, tanto el triunfalismo de los profetas de la tecnociencia como el pesimismo romántico de algunos filósofos, algunas de las líneas actuales de reflexión sobre la tecnociencia nos invitan a debatir las posibles virtudes y amenazas de *cada* tecnología y a concebir procedimientos para que los ciudadanos, usuarios finales de las tecnologías, puedan influir en su diseño. Sobre esta última cuestión, que nos conduce a la temática de la *evaluación de tecnologías* y a la cuestión de la participación ciudadana en la política científico-tecnológica, volveremos al final. Ahora ofreceremos el prometido panorama de lo que han sido históricamente las interacciones entre ciencia, tecnología y sociedad a lo largo del siglo XX.

3. La institucionalización de la ciencia y la tecnología: del siglo XIX al XX

Como señala Sánchez Ron (1992), se puede observar una llamativa diferencia entre la posición social de la ciencia en los inicios del siglo XIX y la que ésta empieza a ocupar a comienzos del XX. En efecto, al comienzo del primero de los siglos indicados no existe apenas interés por la ciencia ni desde la industria ni desde el Estado. Los científicos desarrollaban aún sus investigaciones, en la mayoría de los casos, a sus propias expensas, con apoyos muy limitados, en algunas ocasiones, por parte de academias y universidades. Fueron necesarios importantes descubrimientos en ciencias como la física y la química y, en particular, la constatación de la utilidad de estas ramas de la ciencia para diversos fines antes de que algunas instituciones sociales comenzaran a interesarse por ellas y estar dispuestas a invertir recursos en la investigación científica. Acontecimientos como la invención de la pila por Volta, el estudio de la electrólisis por Faraday, el desarrollo de la telegrafía, las investigaciones de Hertz y Marconi que produjeron la posibilidad de la telegrafía sin hilos, primero, y luego de la radio, la aplicación de la electricidad al alumbrado... fueron poco a poco despertando el interés de los empresarios en la investigación científica y sus aplicaciones tecnológicas. El interés del Estado por invertir en la ciencia siguió siendo muy limitado hasta que, como se señalará en el apartado siguiente, las dos guerras mundiales proporcionaran una motivación adicional.

A partir del descubrimiento de los rayos X por Röntgen en 1895, se producen una serie de desarrollos en la física con importantes consecuencias para la ciencia y la sociedad posteriores. Por un lado, se produjo una temprana asociación de los rayos X con aplicaciones prácticas en terrenos como la Medicina. Por otra parte, las investigaciones sobre rayos catódicos y rayos X condujeron al descubrimiento de los electrones y, más tarde, de otras partículas subatómicas (protones, neutrones, positrones, mesones, neutrinos). A su vez, estas investigaciones produjeron el nacimiento de lo que se ha denominado “Gran Ciencia” (*Big Science*). Cuando las radiaciones naturales de ciertos elementos (uranio, radio, etc.), que habían ayudado a construir los primeros modelos atómicos, resultaron demasiado débiles para avanzar en el conocimiento de los núcleos, se idearon los primeros *ciclotrones*, que permiten aumentar el número y la velocidad de las partículas con las que se “bombardean” los núcleos atómicos

con objeto de conocer su estructura. Estos ciclotrones, como otras grandes instalaciones de la Gran Ciencia, requieren de importantes inversiones que las financien.

Ésta es, precisamente, una de las características más destacadas de la tecnociencia contemporánea (y no sólo en el contexto de la Gran Ciencia): los científicos se ven en la necesidad de “vender” sus proyectos de investigación, de convencer a las instituciones sociales (empresas y Estado principalmente), de la rentabilidad, económica o social, de las instalaciones cuya financiación solicita. Las investigaciones son habitualmente muy caras, requieren importantes equipos humanos y costosas instalaciones. La ciencia ya no puede ser, en general, como podía serlo sólo un siglo antes, la ocupación de un aficionado que reservaba para sus investigaciones algunas dependencias de su propia casa.

4. La militarización de la tecnociencia y el papel de los estados en la financiación de la I+D

4.1. La Primera Guerra Mundial y las armas químicas

Ya se ha mencionado que la implicación de los estados en la financiación de la investigación científico-tecnológica vino dada, en gran medida, por su interés en lo que ahora se denomina “I+D militar”. Esta etiqueta se utiliza habitualmente para referirse a aquella parte de la investigación científica y tecnológica cuyo objetivo principal es obtener innovaciones útiles para la industria de defensa o los propósitos de seguridad militar de los estados.

El uso de la técnica para la guerra ha sido constante a lo largo de la historia. Hallazgos técnicos como el estribo, la pólvora o la ballesta revolucionaron en diversos momentos el arte de la guerra, cambiaron supremacías y obligaron a modificar estrategias. Como los ejemplos mencionados ponen de manifiesto, ha sido frecuente que las innovaciones técnicas con utilidad militar tuvieran también usos no bélicos. En efecto, se ha dado tanto el caso de aplicaciones a la guerra de artefactos y técnicas

desarrollados en otros campos como el descubrimiento de aplicaciones civiles para inventos inicialmente pensados para la guerra.

El uso del conocimiento científico para fines militares fue en el pasado mucho menos frecuente, dada la escasa aplicación técnica que durante siglos tuvo el conocimiento científico (cfr. *supra*). Ahora bien, con la llegada del siglo XX la tecnología de los armamentos ha experimentado un desarrollo desconocido en épocas anteriores mediante el concurso de ciencias como la física y la química.

La Primera Guerra Mundial constituyó un momento clave en la institucionalización de la I+D militar. Gobiernos como el británico y el estadounidense hubieron de reaccionar con presteza, ya comenzada la guerra, ante la superioridad tecnológica de los ejércitos de las potencias centrales (Alemania y Austria/Hungría) que, pese a ser inferiores en población y recursos, estaban poniendo en serios apuros a sus oponentes. A lo largo de esta guerra, diversas innovaciones tecnológicas fueron adquiriendo poco a poco un mayor protagonismo, como es el caso de los primeros usos de la aviación con propósitos bélicos. Pero seguramente ninguna otra aplicación de la ciencia marcó tanto esta contienda como los primeros episodios de guerra química a gran escala.

La química es una de las ramas de la ciencia y de la ingeniería cuyas aportaciones al terreno militar ha suscitado más polémica. La gran mortandad potencial de las armas químicas, las dificultades para seleccionar sus víctimas y evitar daños a la población civil, sus efectos secundarios y secuelas, muchas veces dolorosos y duraderos, han producido con frecuencia el rechazo entre la opinión pública. Incluso muchos militares y numerosos ciudadanos alejados de las ideas pacifistas encontraron difícil conciliar la guerra química con un cierto ideal bélico más o menos caballeresco y con ciertas virtudes tradicionalmente asociadas con las fuerzas armadas.

La convención de La Haya de 1899 prohibía la utilización de veneno o armas envenenadas, así como de proyectiles que transportaran gases asfixiantes o nocivos. Estas prohibiciones se mantuvieron en la Segunda Convención Internacional de La Haya (1907). Sin embargo, a partir de octubre de 1914, ya comenzada la Primera Guerra Mundial, científicos alemanes comenzaron a estudiar, en las instalaciones

de la empresa Bayer, las posibilidades de utilización de gases no letales que consideraban permitidos por los acuerdos de las Conferencias de La Haya. Simultáneamente, científicos franceses y británicos realizaban también ensayos con diferentes gases en sus respectivos países. Los escrúpulos iniciales de algunos con respecto al cumplimiento de las Convenciones de La Haya se fueron esfumando conforme avanzaba la guerra y se investigó decididamente el desarrollo de armas incompatibles con lo estipulado por dichas convenciones. Al mismo tiempo, científicos de las principales potencias implicadas en la guerra trabajaron en el desarrollo de máscaras antigás y otros medios de protección contra la guerra química.

El primer ataque “exitoso” a gran escala con armas químicas tuvo lugar en abril de 1915, cuando el ejército alemán, aprovechando los vientos favorables, liberó una nube de cloro que se dirigió hacia las posiciones francesas en el frente de Ypres, que sufrieron una gran mortandad. Los ataques se sucedieron, teniendo respuesta cinco meses después con nuevos ataques con gases desde el bando aliado. El número y los recursos de los grupos de científicos implicados en la guerra química se incrementó notablemente en ambos bandos, creándose instituciones de investigación específicas. A lo largo de la guerra, se sustituyó el uso del viento como agente propagador por el de proyectiles disparados por la artillería, lo que garantizaba una mayor precisión y reducía el riesgo de bajas propias. Al mismo tiempo, se utilizaron otros gases, como el fosgeno, que produce sus efectos nocivos a través de las vías respiratorias, y el llamado “gas mostaza”, que, además de ser venenoso al inhalarse, produce ampollas en la piel de quien entra en contacto con él.

La guerra química no resultó decisiva durante la Primera Guerra Mundial. El ejército alemán, que mantuvo su supremacía en este terreno durante toda la guerra, resultó, sin embargo, finalmente derrotado. Ahora bien, el uso de gases ocasionó numerosas víctimas, especialmente en aquellos ejércitos, como el ruso, peor dotados de medidas de protección. En total, se estiman en aproximadamente un millón las bajas producidas por la guerra química, de ellas unas 90.000 mortales. Sobre el uso de armas químicas en la Primera Guerra Mundial, cfr. Haber (1986) y Sánchez Ron (1992), 225 ss.

El Tratado de Paz de Versalles, que siguió a la Gran Guerra, prohibió a Alemania la producción e importación de gases asfixiantes y venenosos, así como de líquidos y materiales con análogos efectos. El escándalo producido por los efectos de estas armas condujo unos pocos años después, en 1925, a la firma del Protocolo de Ginebra para la prohibición del uso de gases asfixiantes y venenosos, así como de métodos de guerra bacteriológica. Este protocolo, sin embargo, se limitaba a prohibir el uso de armas químicas, pero no su desarrollo, producción y almacenamiento, lo que permitió que en décadas sucesivas continuara la investigación para su perfeccionamiento. Por otra parte, incluso las modestas restricciones impuestas por el Protocolo de Ginebra fueron violadas por Italia durante su invasión de Abisinia (1935-6) y por las tropas japonesas en su guerra con China (1937-1945). Sin embargo, las armas químicas no fueron usadas en la Segunda Guerra Mundial, a pesar de los importantes arsenales de estas armas en poder de las principales potencias implicadas en ella.

El uso de armas químicas por el ejército iraquí en su guerra con Irán, durante la segunda mitad de los años ochenta, reavivó el debate internacional en torno al uso de estas armas. Con el precedente, además, de la Convención sobre Armas Biológicas, que entró en vigor en 1975, se abrió el camino para el establecimiento de la Convención sobre Armas Químicas, que fue adoptada por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 1993 y es efectiva desde 1997. Esta Convención prohíbe el desarrollo, producción, almacenamiento y uso de armas químicas, al tiempo que obliga a la destrucción de los arsenales en posesión de los países firmantes. De este modo, parece posible cerrar un capítulo especialmente penoso de la contribución de la tecnociencia contemporánea a la guerra. Para más información sobre los intentos de poner límites a las armas químicas, cfr. Adams (1990) y la página de la Organización para la Prohibición de las Armas Químicas (OPCW-OPAQ): <http://www.opcw.org>

Volviendo a la Primera Guerra Mundial, hemos señalado, en resumen, dos consecuencias primordiales de ésta sobre la ciencia: en primer lugar, proporcionó a los gobiernos una motivación importante para invertir recursos en investigación científico-tecnológica, contribuyendo así de forma importante al proceso de institucionalización de la ciencia. En segundo lugar, la Primera Guerra Mundial

marca el comienzo de la I+D militar como un componente importante de la investigación científico-tecnológica, un componente cuyo peso llegó a magnitudes verdaderamente llamativas a partir de los años cuarenta. Falta señalar una tercera consecuencia importante de la Primera Guerra Mundial sobre la actividad científica: la quiebra que supuso para el *internacionalismo* científico, una de las señas de identidad de la ciencia hasta ese momento. En efecto, el internacionalismo era, como señala Sánchez Ron (1992, 234 ss.), una característica con una presencia creciente en la ciencia en la segunda mitad del siglo XIX, como lo atestiguan los frecuentes intercambios y colaboraciones entre científicos de diversos países, la creación de sociedades científicas internacionales y el establecimiento de nomenclaturas y unidades métricas comunes. Sin embargo, el inicio de la guerra marcó la aparición, a partir de 1914, de diversos manifiestos en los que científicos de los países contendientes (Alemania y Francia principalmente) ensalzaban los logros de las respectivas ciencias nacionales y restaban méritos a los investigadores de las naciones enemigas. La ruptura del internacionalismo continuó durante la postguerra, con la exclusión de los científicos alemanes y austriacos de numerosas organizaciones científicas internacionales.

4.2. La Segunda Guerra Mundial y las armas nucleares

Ya nos hemos referido a un tipo de armamento que, si bien desarrollado por primera vez en grado considerable durante la Primera Guerra Mundial, sólo se ha conseguido prohibir de forma relativamente efectiva en fechas recientes: el armamento químico. Ahora bien, de todas las armas producidas por la tecnología del siglo XX ninguna ha despertado tantos justificados temores en la opinión pública como las armas nucleares, desarrolladas a partir de la Segunda Guerra Mundial. Es justamente a partir de ésta cuando puede hablarse de la ciencia y la tecnología como actividades militarizadas hasta niveles sin precedentes. Diversos proyectos de investigación contribuyeron a ello, como el desarrollado en torno al radar. Pero ninguno de ellos tuvo la importancia que, para la sociedad y para la misma ciencia, tuvo a la

larga el llamado “Proyecto Manhattan”.

Con este nombre se conoce el proyecto de investigación que condujo al desarrollo de las primeras bombas atómicas, que se arrojaron sobre Hiroshima y Nagasaki, respectivamente, los días 6 y 9 de agosto de 1945. Este proyecto, en el que trabajaron un gran número de científicos norteamericanos, junto a varios colegas exiliados europeos, se inició en el verano de 1942, pocos meses después de que los EE.UU. entraran en la Segunda Guerra Mundial. Ahora bien, si este proyecto pudo alcanzar sus objetivos en un plazo relativamente breve, se debe a que se desarrolló a partir de investigaciones teóricas y experimentales anteriores que sugerían la posibilidad de obtener energía en gran cantidad provocando la fisión del núcleo del átomo de uranio o de plutonio mediante su bombardeo con neutrones, bombardeo al que seguiría una reacción en cadena.

En un plazo de tres años, el Proyecto Manhattan alcanzó sus metas, al producirse la explosión de las dos bombas atómicas, una de uranio y otra de plutonio, desarrolladas por el amplio equipo de científicos implicado en el proyecto. Es bien conocido el devastador efecto de estas explosiones. Sólo la bomba lanzada sobre Hiroshima había producido unos doscientos mil muertos cinco años después de ser lanzada (pues hay que tener presente que muchas de las víctimas no fallecieron inmediatamente, sino posteriormente, como consecuencia de la radiación recibida). La reflexión moral sobre el Proyecto Manhattan, así como las dudas provocadas por la carrera armamentista y por los ensayos nucleares que se produjeron durante los años que siguieron a la Segunda Guerra Mundial, llevó a muchos científicos, entre ellos algunos que habían colaborado en el Proyecto Manhattan, a movilizarse contra la posibilidad de una guerra nuclear y contra la implicación de la ciencia en una posible destrucción de la humanidad. En este contexto se produjo el que se conoce como “Manifiesto Russell-Einstein”, firmado en primer lugar por estas dos destacadas figuras de la filosofía y la ciencia. Este Manifiesto se dio a conocer a la prensa el 9 de julio de 1955 en Londres y en el plazo de unas pocas semanas fue firmado por varios destacados científicos, principalmente físicos: Max Born, Perry W. Bridgman, Leopold Infeld, Frederic Joliot-Curie, Herman J. Muller, Linus Pauling, Cecil F. Powell, Hideki Yukawa y Josef Rotblat. Este movimiento de

científicos dio origen, a partir de 1957 a las llamadas “Conferencias Pugwash” (*The Pugwash Conferences on Science and World Affairs*), en las que prestigiosos científicos de todo el mundo se han reunido periódicamente para debatir propuestas antibelicistas y antiarmamentistas y presionar para evitar una catástrofe atómica (puede obtenerse información sobre estas conferencias en la página web del movimiento: <http://www.pugwash.org>).

Ahora bien, además de por sus dramáticos resultados y por el debate moral que suscitó, el Proyecto Manhattan es importante porque estableció una cierta forma de desarrollar la práctica científica con enorme influencia e importantísimas consecuencias posteriores.

En primer lugar, es llamativo el hecho de que el proyecto estuviera asignado al Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos y no a alguna de las instituciones de investigación científica existentes en la época. En particular, si bien la coordinación científica de la fase final del proyecto correspondió al físico Robert Oppenheimer, el responsable último de su desarrollo era el coronel (luego general) Leslie R. Groves. De este modo, como ha señalado Sánchez Ron (1992), se producía una cesión, por parte de la sociedad civil, de la soberanía sobre la ciencia en favor de las fuerzas armadas. Tal situación no fue sino un adelanto de lo que ocurrió a mayor escala en los Estados Unidos y en otros países después de la Segunda Guerra Mundial, cuando la I+D militar, controlada por organismos militares, absorbió gran parte de los recursos económicos y humanos destinados a investigación científico-técnica.

En segundo lugar, este proyecto de investigación, dado su carácter militar, estuvo organizado de una forma peculiar con respecto a otros proyectos científicos. En efecto, con objeto de salvaguardar el secreto de las investigaciones y fomentar su eficacia, el coronel Groves impuso una estricta compartimentización a los trabajos realizados dentro del Proyecto Manhattan: cada científico participante debía conocer sobre el proyecto lo estrictamente necesario para desarrollar su trabajo y nada más. Naturalmente, tampoco eran pertinentes los escrúpulos morales con respecto a los objetivos de la investigación.

4.3. La “guerra fría” y las prioridades en I+D

El Proyecto Manhattan se convirtió en un modelo para toda aquella investigación científico-tecnológica de la posguerra financiada con fondos militares. Teniendo en cuenta el elevadísimo porcentaje de científicos e ingenieros que, especialmente en los Estados Unidos, trabajaron durante alguna fase de su carrera en I+D militar durante los años de la Guerra Fría, no es aventurado suponer que la práctica científica contemporánea se ha visto influida en alguna medida por los hábitos adquiridos por muchos investigadores en su trabajo para los departamentos de Defensa de diversos países. En particular, el Proyecto Manhattan habría contribuido a fomentar el especialismo tan extendido en la ciencia contemporánea y habría obligado a invocar una vez más el mito de la neutralidad científica.

El “éxito” del *Proyecto Manhattan* y otros proyectos de I+D militar de gran envergadura, como el del radar, animó a las grandes potencias de la posguerra (de forma más destacada, los Estados Unidos y la Unión Soviética) a considerar a la I+D militar el elemento clave de su carrera por la superioridad armamentista. De este modo, la I+D militar se convirtió en el capítulo que más recursos materiales y humanos absorbía en los presupuestos para I+D de numerosos países. Así, de acuerdo con un informe presentado en 1951 al Departamento de Defensa estadounidense, el 70 por ciento del tiempo dedicado a la investigación por físicos pertenecientes a 750 universidades y *colleges* norteamericanos estaba dedicado a la investigación con fines militares. En los años sesenta, aproximadamente el 80 por ciento del presupuesto federal para I+D estuvo destinado, asimismo, a investigación para la defensa. El porcentaje se redujo en alguna medida en los años setenta, hasta situarse en torno a al 50 por ciento del presupuesto global, si bien volvió a incrementarse en los ochenta, hasta rondar el 70 por ciento. Estimaciones de esa misma época señalaban que aproximadamente un tercio de todos los científicos e ingenieros de los Estados Unidos poseían algún tipo de acreditación otorgada por los servicios de seguridad militar. Por esos mismos años, de acuerdo con expertos de las Naciones Unidas, aproximadamente un 20 por ciento

de los científicos mundiales estaban vinculados a proyectos de investigación de naturaleza militar. A este respecto, cfr. Proctor (1991) y Sánchez Ron (1992).

Este llamativo esfuerzo de muchas sociedades contemporáneas en I+D militar ha tenido importantes consecuencias, tanto para esas sociedades como a la propia tecnociencia. Con relación a esta última, se ha señalado con frecuencia que la investigación con fines militares requiere un cierto perfil de investigadores, científicos y tecnólogos: individuos altamente especializados más que individuos con intereses amplios, por no hablar de escrúpulos morales o preocupaciones sociales. Dado el importante número de científicos, ingenieros y tecnólogos vinculados, como acabamos de señalar, con la I+D militar en, al menos, alguna fase de su trayectoria como investigadores o investigadoras, no sería sorprendente que los hábitos adquiridos en ese contexto se reprodujeran incluso cuando esos científicos y tecnólogos colaboraran en proyectos de I+D civil.

Más inquietantes aún resultan las consecuencias sociales de una I+D altamente militarizada. En primer lugar, la existencia de armas tecnológicamente punteras con una capacidad destructiva cada vez mayor representa una creciente amenaza para la humanidad globalmente considerada y, en especial, para la población civil. En segundo lugar, dado lo reducido de los presupuestos para I+D de la mayoría de los países, el hecho de que la I+D militar reciba en muchos casos un porcentaje muy elevado de esos presupuestos tiene como consecuencia que otras líneas de investigación socialmente más beneficiosas queden insuficientemente dotadas de fondos públicos. Puesto que la investigación científico-tecnológica contemporánea precisa habitualmente grandes inversiones de recursos económicos y humanos, no es descabellado suponer que el conocimiento en aquellos campos a los que se dedica un esfuerzo mayor avanzará más deprisa que aquél perseguido con menos medios. Por tanto, el despilfarro de dinero y talento en investigación militar que ha sido tan común a lo largo del siglo XX se ha realizado a expensas de otras investigaciones más acordes con objetivos que seguramente deberían considerarse prioritarios.

Bien es verdad que a menudo se defiende la I+D militar señalando los efectos beneficiosos que ésta produciría en la I+D global y en el desarrollo industrial de un país. Así, se señala en ocasiones que

artefactos como el radar o los ordenadores, con muy diversas aplicaciones actuales en la vida civil, tienen su origen en proyectos de investigación con finalidades militares. En la terminología económica, se hablaría entonces de las aplicaciones civiles de la I+D militar como de un caso de “*spin-off*”, donde esta expresión inglesa se utiliza para referirse a cualquier producto o desarrollo que se obtiene de forma inesperada a partir de la aplicación de conocimientos o procedimientos previamente disponibles.

Los defensores de los beneficiosos efectos de la investigación militar sobre la civil invocan frecuentemente un argumento histórico bastante verosímil. De acuerdo con éste, la hegemonía que disfrutaron potencias como los Estados Unidos en el ámbito científico-tecnológico se explica fundamentalmente por la masiva inversión en I+D militar que, como hemos señalado anteriormente, hubieron de realizar esas potencias como resultado de su participación en los principales enfrentamientos militares del siglo XX (Primera Guerra Mundial, Segunda Guerra Mundial, “Guerra Fría”). El corolario habitual de este argumento es recomendar a aquellos estados deseosos de fomentar la I+D propia y de emular el desarrollo científico-tecnológico estadounidense que incrementen las inversiones en I+D militar.

Ahora bien, el argumento histórico en favor de esta estrategia para el fomento de la investigación y el desarrollo se ve contestado con frecuencia con otro dato histórico: a Japón y Alemania, potencias derrotadas en la Segunda Guerra Mundial, no les fue permitido entrar en la carrera armamentista posterior ni realizar investigaciones con fines militares, pero estas limitaciones no impidieron que ambos países se convirtieran, a la vuelta de unas pocas décadas, en dos dinámicas fuentes de diseño tecnológico y en dos de las economías más poderosas del planeta. Incluso algunos historiadores, como Sánchez Ron (1992), sugieren que los “milagros económicos” acaecidos en estos dos países durante la posguerra pueden explicarse en parte como resultado de su mayor dedicación a la ciencia académica e industrial. Así pues, puede defenderse con bastante fundamento que si los EE.UU. han alcanzado un elevado nivel de desarrollo científico, tecnológico y económico no ha sido precisamente gracias a, sino a pesar de, su enorme inversión en el desarrollo y compra de armamento, y que la mayoría de los países cometerían un

error si intentaran copiar el modelo estadounidense y se permitieran el mismo despilfarro de recursos humanos y materiales.

A esta réplica de carácter histórico pueden añadirse diversos argumentos económicos, entre los que destacan los siguientes (cfr. Dumas, 1988; Oliveres y Ortega, eds., 2000):

1. Si bien es cierto que tanto la I+D militar como la industria militar generan actividad económica y favorecen la creación de empleo, lo mismo podría afirmarse, en mayor o menor grado, de casi cualquier actividad. La pregunta pertinente es si la inversión de fondos públicos en investigación con fines militares es la forma más deseable de conseguir los objetivos económicos citados. Ciertamente, no parece serlo desde un punto de vista moral. Pero incluso es muy discutible que lo sea desde la perspectiva de la estricta rentabilidad económica. Numerosos economistas han defendido que la industria militar se cuenta entre las peores inversiones públicas con respecto a la generación de empleo. Otros muchos usos de los fondos públicos (incluyendo la mera devolución de las cantidades recaudadas a los contribuyentes) crean más puestos de trabajo y dinamizan en una medida mucho mayor la economía de un país.

2. Si bien es verdad que la carrera armamentista y los grandes conflictos bélicos del siglo XX fueron decisivos a la hora de convencer a gobernantes y opiniones públicas de la necesidad de fortalecer la inversión pública en I+D, la relación entre investigación científico-tecnológica y desarrollo económico es ya un lugar común. No resulta, pues, necesario el recurso a la defensa nacional para justificar ante políticos y ciudadanos el gasto público en ciencia y tecnología.

3. La habitual mención de transferencias desde la investigación con fines militares a la I+D civil (radar, ordenadores, Internet, etc.) suele pasar por alto que las transferencias se dan con mucha mayor frecuencia en el sentido contrario. Las innovaciones tecnológicas en el terreno militar tienen generalmente una gran deuda con descubrimientos e invenciones previos de científicos e ingenieros civiles.

4. Los artefactos militares contemporáneos requieren elevadas inversiones de capital y un desarrollo tecnológico de muy alto nivel, lo que significa una auténtica sangría de recursos económicos y talento humano. Dado que los recursos disponibles para I+D son limitados, la masiva inversión en

investigaciones de carácter militar produce una importante merma en la capacidad investigadora en otros campos. Esta merma no se compensa por el hecho de que algunas tecnologías de uso civil hayan tenido su origen en la I+D militar, pues seguramente se hubieran podido desarrollar igualmente, con un coste mucho menor, sin necesidad de un rodeo a través de la investigación armamentista.

Con seguridad, la pregunta relativa al grado de prioridad que debe recibir la I+D militar en los presupuestos públicos de I+D constituirá en el futuro uno de los debates primordiales no sólo de la política científica de cada país sino de la discusión política en general. En buena medida, la clave del éxito que los estados puedan conseguir en terrenos como el bienestar y la seguridad de sus ciudadanos dependerá de su acierto a la hora de responder a esa pregunta.

5. La evaluación de tecnologías y la política pública en I+D

A lo largo del siglo XX fueron acumulándose razones para desconfiar del tecno-optimismo que, con todo, ha seguido predominando entre la opinión pública y gran parte de la comunidad científica. Ciertamente, numerosas innovaciones tecnológicas han contribuido a la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos (aunque muchas de esas innovaciones no hayan estado igualmente accesibles a todos los seres humanos). Pero, al mismo tiempo, ha ido creciendo la consciencia social de los riesgos asociados a numerosas tecnologías.

Así, la llamada *revolución verde* trajo consigo, junto a crecimientos en la producción de diversos cultivos, los riesgos para la salud y para el medio ambiente que son consecuencia del uso masivo de herbicidas, pesticidas y fertilizantes; el uso de la fisión nuclear como fuente de energía ha estado rodeada de polémicas y temores que se han visto confirmados con los incidentes de las centrales de la Isla de las Tres Millas (Harrisburg, EE.UU.) y Chernobil, en la antigua Unión Soviética; la desconfianza de la población hacia los procesos industriales se ha multiplicado por efecto de accidentes como el de Bhopal

(India), donde un escape tóxico desde la factoría propiedad de la empresa *Union Carbide* produjo la muerte de varios miles de personas; en España, la confiada actitud de la ciudadanía se vio sobresaltada por la rotura de la presa de Aznalcóllar, que produjo el vertido de lodos contaminantes, procedentes de la actividad minera, al entorno del Parque Nacional de Doñana. Los periódicos informes sobre el aumento del agujero de la capa de ozono y la posibilidad de que se esté acelerando el cambio climático por efecto de las actividades humanas (y, en particular, del uso de tecnologías de producción de energía, transporte, etc. que consumen cantidades ingentes de combustibles fósiles) han contribuido, asimismo, a la justificada alarma de la población. Incluso la utilización de tecnologías tan extendidas y socialmente tenidas por casi imprescindibles en muchas sociedades, como la televisión y el automóvil, no está exenta de voces críticas que denuncian sus riesgos y ponen en duda algunas de sus supuestas ventajas (recuérdese, por ejemplo, el cálculo de Iván Illich sobre el tiempo total, cuatro horas, que dedicaría el norteamericano medio a su automóvil). Ahora bien, pocas tecnologías han suscitado en las últimas décadas tanto debate social como las biotecnologías. Defensores de sus ventajas en terrenos como la medicina o la agricultura cruzan argumentos con quienes advierten de riesgos considerables asociados a su uso. En el apartado siguiente presentamos el debate social y científico en torno a las biotecnologías como un destacado ejemplo de cómo las controversias acerca de las previsibles consecuencias sociales de la tecnociencia contemporánea producen una sana (aunque no siempre bien informada) confrontación de opiniones con respecto a las circunstancias de su desarrollo y aplicación. Al mismo tiempo, la controversia sobre las biotecnologías ilustra la necesidad de introducir procedimientos de evaluación de tecnologías como las que han comenzado a desarrollarse durante los últimos años.

5.1. Un caso especialmente sensible: las biotecnologías

La tecnología del ADN recombinante es relativamente reciente. Téngase en cuenta que el primer experimento de inserción de genes se realizó en 1973. Sin embargo, dicha tecnología ha experimentado

un considerable desarrollo en las últimas décadas y ha estado acompañada por las dudas, las precauciones y la polémica desde el principio. Al mismo tiempo que se daban los primeros pasos hacia el desarrollo de la ingeniería genética, algunos investigadores expresaron sus cautelas con respecto a los posibles riesgos que podrían derivarse de la manipulación genética (en particular, por la posibilidad de crear microorganismos que resultaran patógenos para los seres humanos). Como resultado de estas dudas, en la Conferencia de Asilomar de 1975 se aprobó una moratoria de la comunidad científica con respecto a los experimentos con ADN recombinante hasta que se adoptaran medidas de seguridad suficientes. Unos cinco años más tarde, sin embargo, se extendió entre los científicos la convicción de que los temores expresados anteriormente estaban, en gran medida, injustificados, lo que reabrió el camino a las investigaciones, si bien éstas han estado acompañadas de diversas regulaciones que pretenden minimizar los riesgos.

La necesidad y el sentido de estas regulaciones puede ilustrarse bien en el caso de la ingeniería genética de plantas, unas de las variantes más interesantes de la biotecnología vegetal (cfr. Iáñez y Moreno, 1997). La *mejora* de las plantas mediante la intervención humana (mejora, naturalmente, desde el punto de vista de la satisfacción de las necesidades y deseos humanos) es una constante desde los inicios de la agricultura. Prácticamente todas las variedades vegetales que consumimos actualmente son resultado de selecciones y cruces realizados durante siglos por los agricultores, lo que plantea dudas sobre lo adecuado de llamar “naturales” a alimentos tan cotidianos y tradicionales como las frutas y hortalizas. Estas modificaciones deliberadas de las especies vegetales se pudieron realizar con mayor eficacia a partir del descubrimiento de las leyes de Mendel, en los inicios del siglo XX. Décadas más tarde, las diversas técnicas de la biotecnología agrícola están ofreciendo la posibilidad de introducir esas modificaciones de forma más rápida y precisa, amén de permitir cambios que eran imposibles de lograr con los métodos tradicionales (como en el caso de la incorporación a una variedad vegetal de material genético proveniente de otras especies, incluyendo especies no vegetales). De todas las biotecnologías de plantas, la más llamativa es la ingeniería genética de plantas, que permite crear variedades nuevas mediante la

introducción, en el genoma de una planta determinada, de ADN procedente de otras plantas, animales o microorganismos. A las variedades así obtenidas se les denomina *plantas transgénicas*.

Las plantas transgénicas pueden diseñarse con mucha mayor precisión que con los métodos tradicionales de cruce, al incorporarse al genoma de la planta únicamente aquel gen o genes que se consideran responsables de la característica buscada. Entre los propósitos perseguidos destacan la obtención de variedades más resistentes a ciertas plagas, a las heladas o a los herbicidas utilizados en el cultivo, mejoras en las cualidades nutritivas del producto y obtención de productos con características más adecuadas para su comercialización y elaboración (por ejemplo, frutas de maduración más lenta tras su recolección). Los primeros productos transgénicos llegaron a los mercados de algunos países en 1994. En la actualidad, varios de estos productos son relativamente comunes en las mesas de muchos consumidores; entre ellos se cuentan los tomates, el maíz, la soja, la colza y otros comestibles habituales.

Ahora bien, la controversia acompaña cada una de las fases que van desde la manipulación genética de las plantas hasta su consumo por parte de los ciudadanos. Las legislaciones de numerosos países, así como la supranacional de la Unión Europea, contemplan medidas diversas con objeto de prevenir los riesgos previsibles, unas medidas que suelen parecer excesivamente restrictivas a unos y demasiado permisivas a otros. Los riesgos asociados a la investigación en este terreno se pretenden minimizar mediante la obligación de que los ensayos con las plantas transgénicas hayan de superar varias pruebas antes de su cultivo comercial: ensayos en laboratorio, a continuación en invernaderos y, finalmente, mediante pequeños cultivos en campo abierto (cfr. MAZUR, 1995). Más sospechas despiertan los cultivos a gran escala de plantas transgénicas con vistas a la obtención de productos comercializables. Entre los riesgos señalados por los científicos, especialmente los ecólogos, destacan los siguientes:

- Peligro de contaminación genética desde las plantas modificadas genéticamente hacia plantas silvestres de su familia que crezcan en las cercanías de los cultivos. La consecuencia del paso del material genético hacia plantas no previstas podría dar lugar a híbridos con características indeseadas, por ejemplo, un grado elevado de invasividad que pusiera en peligro la biodiversidad.

- Riesgo de que las plantas modificadas genéticamente presenten hábitos ecológicos diferentes a los que exhibían las plantas originales con anterioridad a la introducción en ellas de genes extraños. Una consecuencia de esta situación podría ser la invasión incontrolada de los ecosistemas vecinos por los organismos modificados.

- Posibilidad de que el éxito comercial de las plantas modificadas genéticamente reduzca la diversidad genética de especies vegetales de las que depende en gran medida el aprovisionamiento humano (maíz, arroz, etc.). Como consecuencia de ello, una plaga que afectara a la variedad predominante podría poner en peligro la alimentación de grandes contingentes de la población mundial.

No sólo la investigación y el cultivo de plantas modificadas genéticamente ha provocado sospechas y controversias. Éstas últimas afectan también a la comercialización y al consumo de los alimentos transgénicos, aspectos éstos que han sido sometidos también a regulación en numerosos países. Un motivo de preocupación ha sido el que los alimentos transgénicos puedan producir reacciones alérgicas. Aunque los científicos están mayoritariamente de acuerdo en que los productos resultantes de manipulación genética no son más alergénicos que cualquier otro obtenido mediante procesos tecnológicos complejos, sectores amplios de la opinión pública han reclamado (y, en muchos países, conseguido) que los productos que incluyan alimentos genéticamente manipulados en una proporción significativa lo adviertan en su etiquetado.

Un último aspecto controvertido con respecto a la ingeniería genética que resulta de interés mencionar es el papel de aquélla en el aprovisionamiento de alimentos para la Humanidad y en la solución de los males que afectan a los países del Tercer Mundo. Mientras algunos han aplaudido y justificado el desarrollo de la biotecnología de plantas con el argumento de que los aumentos esperados en los rendimientos de numerosos cultivos servirán para alimentar a una población mundial en rápido crecimiento, los críticos señalan que el problema del hambre en el Tercer Mundo depende más de la distribución de los alimentos que de las cantidades producidas y que las biotecnologías pueden servir sobre todo para incrementar la dependencia de los países pobres con respecto a sus suministradores de

tecnología (en este caso, semillas, herbicidas, etc.) y para incrementar la distancia entre unos pueblos y otros. Seguramente, una posición equilibrada en este terreno habrá de reconocer, por un lado, que sería temerario descartar la contribución de la ingeniería genética al aumento en la producción de alimentos, al tiempo que se admite la necesidad de combinar el recurso a estas tecnologías con medidas económicas y políticas que corrijan las desigualdades y permitan el acceso de todos a alimentos y tecnología en pie de igualdad (cfr., al respecto, Iáñez y Moreno, 1997).

En este punto, resulta de interés mencionar un principio que ha inspirado algunas de las legislaciones más avanzadas en el terreno de las biotecnologías, como ciertas directivas de la Dirección General de Protección Civil y del Ambiente de la Unión Europea (cfr. López Cerezo y Luján López, 2000). Se trata del llamado *principio de precaución*, cuya aplicación es reclamada por muchos a la hora de evaluar cualquier tecnología cuyo uso pueda acarrear daños considerables para el medio ambiente o la salud de los ciudadanos

De acuerdo con este principio, en situaciones de incertidumbre con respecto a las posibles consecuencias de una determinada tecnología, y siempre que exista la amenaza de daños serios e irreversibles, se debe adoptar medidas que eviten dichas consecuencias, *incluso si no existe certeza científica completa con respecto a las consecuencias previsibles*. En otras palabras, el principio de precaución establece que ante un proceso o sustancia cuyos riesgos sean inciertos pero importantes e irreversibles, la carga de la prueba de la inocuidad corresponde a quien pretende introducir ese proceso o sustancia, no a quien se opone a ellos.

El estudio del desarrollo y las consecuencias sociales las biotecnologías pone de manifiesto, en primer lugar, la necesidad de evaluar tecnologías especialmente sensibles como éstas en todas las fases de su evolución (en este caso, investigación, cultivo, comercialización y consumo). Además, enseña que esa evaluación debe ser sensible a las percepciones, intereses y sensibilidad de los consumidores y, en general, de los ciudadanos. Estas dos enseñanzas están presentes, en general, en algunas de las concepciones actualmente más extendidas de la evaluación de tecnologías.

5.2. Evaluación de tecnologías

Sólo una vez descartada la idea del determinismo tecnológico, tanto en su versión optimista como en su versión pesimista (*cf. supra*), y admitida la tesis de que las tecnologías son socialmente *construidas* puede parecer necesario *evaluar* las tecnologías. En efecto, si nos convencemos de que la evolución de cualquier tecnología no sigue un camino necesario, si creemos que las características de las sucesivas innovaciones tecnológicas dependen de decisiones adoptadas por diversos agentes sociales y si creemos que las consecuencias sociales de esas innovaciones no serán ni necesariamente beneficiosas ni necesariamente indeseables, sino que dependerán de cómo haya sido socialmente configurada cada nueva tecnología, entonces cobra sentido reclamar que cada innovación tecnológica sea *evaluada*. Esto es, cobra sentido preguntarnos si necesitamos esa determinada tecnología o si, por el contrario, tenemos razones para verla como una amenaza; más aún, cobra sentido preguntarse, una vez decidimos aceptar una tecnología en particular, en qué condiciones la aceptamos y con qué características en su diseño.

Ahora bien, la cuestión fundamental es la de *quién y cómo* evalúa las tecnologías. Pues afirmar genéricamente que la sociedad *construye* las tecnologías no equivale a decir que los distintos grupos sociales participan en igual medida en la configuración de éstas. Tradicionalmente, en los procesos de configuración de las tecnologías todas las opciones del consumidor se han reducido habitualmente a comprar o no los productos que el mercado ofrece, sin que haya existido debate previo acerca de la necesidad de esos productos, de los posibles riesgos asociados a ellos o de las posibilidades de introducir modificaciones en su diseño que los hagan mejores desde el punto de vista de las necesidades sociales.

La evaluación de tecnologías es precisamente un instrumento privilegiado para prevenir los posibles efectos indeseables de los diseños tecnológicos y promover la participación ciudadana. Ahora bien, no todos los modelos de evaluación de tecnologías aseguran en igual medida el logro de esos objetivos. Una primera forma de entender y practicar la evaluación de tecnologías se inició con la

creación, en 1973, de la Oficina de Evaluación de Tecnologías del Congreso estadounidense (Office of Technology Assessment, OTA). El enfoque utilizado por esta Oficina, al que a veces se denomina evaluación “tradicional” o “clásica” de tecnologías, presenta diversas limitaciones, entre las que cabe destacar dos (cfr. Aibar y Díaz, 1994; González García *et. al.*, 1996, 150 ss.). En primer lugar, la evaluación tradicional deja fuera de su ámbito el proceso de diseño tecnológico, esto es, da por sentado que una determinada tecnología llega a la sociedad inevitablemente tal y como ha sido diseñada por los ingenieros y tecnólogos. De este modo, se limita la tarea evaluadora a la emisión de avisos tempranos sobre los posibles impactos negativos de cada tecnología (impactos sobre el empleo, ambientales, etc.), de forma que la sociedad pueda adaptarse a la presencia de esa tecnología. Un segundo rasgo que se ha criticado a este enfoque es su carácter expertocrático. La evaluación clásica intenta separar los impactos de una tecnología de las cuestiones valorativas involucradas, como si la determinación de los impactos pudiera ser una tarea objetiva. No se considera, pues, que los ciudadanos deban intervenir en los procesos de evaluación de tecnologías, que se encomiendan a los expertos.

Una alternativa a este modelo es la denominada Evaluación Constructiva de Tecnologías. Ésta surgió a mediados de los años 80, vinculada a la Oficina Holandesa de Evaluación de Tecnologías (NOTA), dependiente del Parlamento de los Países Bajos (cfr. van Boxsel, 1994; Rip *et al.*, eds., 1995). Los defensores de este nuevo enfoque insisten en la necesidad de evaluar, controlar y decidir a lo largo de todo el proceso de diseño y desarrollo de la nueva tecnología. No se trata, pues, de evaluar sólo los resultados finales y aleccionar a la sociedad sobre los posibles problemas, sino de influir en la construcción de la tecnología, de forma que sea ésta la que se adapte a las necesidades sociales y no al revés. Además, en este modelo no se concibe la evaluación de tecnologías como un proceso completamente objetivo y neutral. De ahí que se promueva la información y la participación de los ciudadanos en los procesos de evaluación tecnológica que puedan concernirles. Esta exigencia de participación democrática se basa en la confianza de que con ella será posible construir un proceso científico-tecnológico más acorde con los deseos y necesidades de amplios sectores sociales y menos

sometido a los intereses de grupos reducidos pero poderosos. Al mismo tiempo, es acorde con la reivindicación de una profundización de la democracia en los diversos ámbitos de la vida social.

Por desgracia, en la gran mayoría de los países ni la evaluación constructiva ni, siquiera, formas más tradicionales de evaluación de tecnologías están plenamente institucionalizadas y realizadas de forma sistemática. Serán necesarios grandes cambios en las próximas décadas para conseguir una mejor distribución de la influencia social sobre el diseño tecnológico y las decisiones en política pública sobre ciencia y tecnología.

5.3. Modelos de participación social

La convicción de que es necesario facilitar la participación ciudadana en la evaluación de tecnologías y en la política científico-tecnológica choca, sin embargo, con importantes dificultades a la hora de su realización en la práctica. Por un lado, resulta insatisfactorio considerar que esa participación ya se da o puede darse en tanto en cuanto los parlamentos, representantes de los ciudadanos, ya asumen o pueden asumir tales funciones. Pues, en primer lugar, los parlamentos están, en muchas democracias actuales, excesivamente subordinados al poder ejecutivo y se convierten con frecuencia, como consecuencia de un abusivo uso de la mayoría parlamentaria, en meros validadores de la acción y las iniciativas legislativas del gobierno. En segundo lugar, el hábito de dejar la reflexión y el debate sobre asuntos que conciernen a la ciudadanía en manos de un número reducido de profesionales de la política puede incentivar el desinterés y la falta de formación del público, especialmente con respecto a cuestiones que, como las controversias tecnocientíficas, requieren de cierto esfuerzo y preparación a la hora de comprenderlas y formarse una opinión informada.

Pero, por otro lado, la participación directa de todos los ciudadanos, en la forma de una democracia asamblearia, resulta evidentemente imposible en las complejas y superpobladas unidades

políticas actuales. De ahí que las propuestas de participación ciudadana en procesos de evaluación de tecnologías, evaluación de riesgos y política pública en ciencia y tecnología adopten, en general, la forma de una representación selectiva de ciudadanos y ciudadanas que, no siendo expertos en la materia a juzgar, cumplen ciertos requisitos (motivación, cierto nivel cultural, representatividad del conjunto de la ciudadanía, etc.). De este modo, dichas propuestas se acercan más al modelo del *jurado* que al del parlamento representativo o al de la asamblea general. Así, la analogía con el jurado es evidente en los “tribunales tecnológicos” propuestos por Kristin Shrader-Frechette (cfr., p. ej., Shrader-Frechette, 1985 y 1997), formados por ciudadanos cultos. Los ciudadanos de a pie están también presentes, junto con los expertos, en las “comunidades extendidas de evaluadores”, preconizadas por S. Funtowicz. y J.R. Ravetz (1997). Otra propuesta interesante es la de las “conferencias de consenso”. Con respecto a las anteriores, ésta tiene el aliciente de que varias de estas conferencias se han celebrado ya, efectivamente, en varios países, a partir del modelo establecido en 1987 por el Comité de Tecnología de Dinamarca. De esta práctica efectiva cabe extraer algunas enseñanzas de interés, por lo que merece la pena detenerse por un momento a explicar el funcionamiento de estas conferencias.

Las conferencias de consenso tienen como principal objetivo promover la participación de los ciudadanos en decisiones que les afectan sobre ciencia y tecnología y se desarrollan del modo siguiente. Se reúne un grupo de ciudadanos no especialistas, bien a iniciativa propia, bien convocados mediante anuncios en la prensa o procedimientos similares. A lo largo de unos pocos encuentros, esos ciudadanos debatirán en torno a una cuestión sensible relacionada con la tecnología y sus consecuencias sociales, intentando llegar a un dictamen consensuado. Los ciudadanos que toman parte en la conferencia solicitarán el asesoramiento de expertos, que les proporcionará información sobre el tema debatido y responderán a sus preguntas. Se sucederán las reuniones entre el grupo de ciudadanos y las sesiones informativas con los expertos, hasta que finalmente los primeros se encuentren en condiciones de acordar un informe sobre el tema debatido.

Es importante señalar que son los ciudadanos, inicialmente legos en la materia, y no los expertos

quienes redactan el documento final, correspondiendo a estos últimos únicamente tareas de asesoramiento y corrección de errores manifiestos. De esta forma, las conferencias de consenso funcionan como un auténtico experimento para comprobar la viabilidad de procesos participativos de toma de decisiones sobre ciencia y tecnología. Por otra parte, aunque el número de ciudadanos que participa en estas experiencias es reducido, su repercusión mediática y su capacidad de influencia sobre las decisiones políticas no es despreciable. Así, la conferencia celebrada en Noruega sobre ingeniería genética influyó la decisión del gobierno de ese país de prohibir la producción agrícola genéticamente modificada.

La existencia de estas experiencias no debería, sin embargo, llevarnos a engaño. La información y la participación del público en decisiones tecnocientíficas importantes está lejos de ser una práctica generalizada. Conseguir la institucionalización de formas adecuadas de participación ciudadana en la política científico tecnológica será sin duda, unos de los retos principales para las sociedades democráticas en las próximas décadas. Pero esos mecanismos de participación sólo serán adecuados si consiguen un equilibrio entre el derecho de los ciudadanos a conocer y tomar parte en decisiones que les afectan gravemente y un grado suficiente de rigor y acierto en las decisiones (mediante el asesoramiento plural por grupos de expertos), que evite el descrédito de las agencias de evaluación social y la nostalgia de la tecnocracia.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbate, Janet (1999) "Cold War and White Heat: the Origins and Meanings of Packet Switching", en Mackenzie y Wajcman (eds.) (1999), pp. 351-371.
- Adams, Valerie (1990): *Chemical Warfare. Chemical Disarmament*. Bloomington, Indiana University Press.
- Aibar, Eduardo, y Díaz, J. Antonio (1994): "Dos décadas de evaluación de tecnologías: del enfoque tecnocrático al diseño actual". *Sistema*, 123, pp. 95-123.

- Bijker, Wiebe E. (1995a): *Of Bicycles, Bakelites, and Bulbs. Towards a Theory of Sociotechnical Change*. Londres, MIT Press.
- Bijker, Wiebe E. (1995b): "Sociohistorical Technology Studies", en Jasanoff *et. al.* (eds.) (1995), pp. 229-256.
- Bijker, Wiebe E. (1997): "La construcción social de la bakelita: hacia una teoría de la invención", en González García *et. al.* (eds.) (1997), pp. 103-129.
- Bijker, Wiebe E., y Law, John (eds.) (1992) *Shaping Technology/Building Society. Studies in Sociotechnological Change*. Cambridge (Massachussets), MIT Press.
- van Boxsel, Joey (1994): "Constructive Technology Assessment: a New Approach for Technology Assessment Developed in the Netherlands and its Significance for Technology Policy", en Aicholzer, G., y Schienstock, G. (eds.) *Technology Policy: Towards the Integration of Social and Ecological Concerns*. Berlin, de Gruyter, pp. 181-203.
- Dumas, Lloyd J. (1988): "Military R&D and Economic Progress: Of Burdens and Opportunities", en Albrecht, Ulrich, y Thee, Marek (1988) *Military Use of Research and Development: the Arms Race and Development. Bulletin of Peace Proposals*, vol. 19, nos. 3-4, pp. 293- 303.
- Echeverría, Javier(1995): *Filosofía de la ciencia*. Madrid: Akal.
- Edwards, Paul N. (1995) "From «Impact» to Social Process. Computers in Society and Culture", en Jasanoff *et al.* (1995), pp. 257-285.
- Feenberg, Andrew (1991): *A Critical Theory of Technology*. Oxford, Oxford University Press.
- Funtowicz, Silvio, y Ravetz, Jerome K. (1997) "Problemas ambientales, ciencia post-normal y comunidades de evaluadores extendidas", en González García, Marta I., López Cerezo, José A., y Luján, José L. (1997): *Ciencia, tecnología y sociedad*, pp. 151-160.
- González García, Marta I., López Cerezo, José A., y Luján, José L. (1996): *Ciencia, tecnología y sociedad. Una introducción al estudio social de la ciencia y la tecnología*. Madrid. Tecnos.
- González García, Marta I., López Cerezo, José A., y Luján, José L. (1997): *Ciencia, tecnología y*

- sociedad. Lecturas seleccionadas.* Barcelona, Ariel.
- Haber, L.F. (1986): *The Poisonous Cloud. Chemical Warfare in the First World War.* Oxford, Clarendon Press.
- Hillgartner, Stephen (1995): “The Human Genome Project”, en Jasanoff *et. al.* (1995), pp. 302-315.
- Iáñez Pareja, Enrique, y Moreno Muñoz, Miguel (1997): “Biotecnología agrícola: promesas y conflictos”, en Rodríguez Alcázar, F.J., Medina Doménech, R.M., y Sánchez Cazorla, J.A. (eds.) *Ciencia, tecnología y sociedad: contribuciones para una cultura de la paz.* Granada: Universidad de Granada.
- Jasanoff, Sheila, Markle, Gerald E., Petersen, James C., y Pinch, Trevor (1995): *Handbook of Science and Technology Studies.* Londres, Sage.
- Laudan, Larry (1984): *Science and Values: The Aims of Science and Their Role in Scientific Debate.* Berkeley, University of California Press.
- Longino, Helen (1990): *Science as Social Knowledge: Values and Objectivity in Scientific Inquiry.* Princeton: Princeton University Press.
- López Cerezo, José A., y Luján López, J. Luis (2000): *Ciencia y política del riesgo.* Madrid, Alianza.
- Mackenzie, Donald, y Wajcman, Judy (1999): *The Social Shaping of Technology.* Buckinham, Open University Press.
- Moreno Muñoz, Miguel, y Iáñez Pareja, Enrique (1997): “Elementos para la resolución de controversias en el debate sobre biotecnología sociedad”, en Rodríguez Alcázar, F.J., Medina Doménech, R.M., y Sánchez Cazorla, J.A. (eds.) *Ciencia, tecnología y sociedad: contribuciones para una cultura de la paz.* Granada: Universidad de Granada.
- Mazur, B.J. (1995): “Commercializing the Products of Plant Biotechnology”. *Trends in Biotechnology*, 13, 319-323.
- Mumford, Lewis (1934): *Técnica y civilización.* Madrid, Alianza, 1982.
- (1967): *El mito de la máquina.* Buenos Aires, Emecé, 1969.

- Oliveres, Arcadi, y Ortega, Pere (eds.) (2000): *El ciclo armamentista español*. Barcelona, Icaria.
- Pérez Sedeño, Eulalia (1986): *El rumor de las estrellas*. Madrid. Siglo XXI.
- Proctor, Robert N. (1991): *Value-Free Science? Purity and Power in Modern Knowledge*. Cambridge (Massachusetts). Harvard University Press.
- Reichenbach, Hans (1938): *Experience and Prediction: An Analysis of the Foundations and the Structure of Knowledge*. Chicago, the University of Chicago Press
- Rip, Arie, Misa, Thomas, y Schot, Johan (eds.) (1995): *Managing Technology in Society: the Approach of Constructive Technology Assessment*. Londres, Pinter.
- Sánchez Ron, José Manuel (1992): *El poder de la ciencia*. Madrid. Alianza.
- Shrader-Frechette, Kristin (1985): *Science Policy, Ethics and Economic Methodology*. Reidel, Dordrecht.
- Shrader-Frechette, Kristin (1989): “Scientific Progress and Models of Justification: A Case in Hydrogeology”, en Goldman, S.L. (ed.) *Science, Technology and Social Progress*. Bethelhem, Lehigh University Press.
- Shrader-Frechette, Kristin (1997): “Amenazas tecnológicas y soluciones democráticas”, en González García, Marta I., López Cerezo, José A., y Luján, José L. (1997), pp. 225-236.
- Winner, Langdon (1987): *La ballena y el reactor*. Barcelona. Gedisa.
- Wittgenstein, Ludwig (1921): *Tractatus Logico-Philosophicus*. Trad. cast. de Enrique Tierno Galván. Madrid: Alianza, 1973.

Páginas web:

Puede encontrarse una completa documentación sobre la guerra química y los tratados internacionales que han intentado limitarla en la página de la Organización para la Prohibición de las Armas Químicas (OPCW-OPAQ): <http://www.opcw.org>

El Instituto Loka ofrece información sobre experiencias de participación ciudadana en evaluación de tecnologías: <http://www.loka.org>

La página web del movimiento Pugwash es: <http://www.pugwash.org> Página web de la Union of Concerned Scientists: www.ucsusa.org

Página web de la International Network of Scientists and Engineers for Social Responsibility (INES):
<http://www.inesglobal.com/>

Página web de Scientists for Global Responsibility: <http://www.sgr.org.uk/>