

La revolución tecnocientífica

por Javier Echeverría

Prólogo

La revolución científica se inició en las últimas décadas del siglo XVI y se desarrolló a lo largo del siglo XVII. Sus impulsores (Copérnico, Galileo, Harvey, Descartes, Huygens, Leibniz, Newton y otros muchos) cambiaron radicalmente la concepción europea del mundo, rompiendo con los moldes aristotélico-escolásticos que habían predominado durante el medievo. El cambio fue lento y se produjo en algunos países europeos (Italia, Holanda, Gran Bretaña, Francia, Alemania), propagándose poco a poco al resto de Europa y al Norte de América. Afectó únicamente a algunas disciplinas (astronomía, matemáticas, física, medicina), que fueron la vanguardia del cambio filosófico y metodológico. Posteriormente, la matematización del conocimiento y la metodología experimental fueron llegando a las demás ciencias, con la consiguiente irrupción de nuevas teorías en química, biología, geología y, finalmente, en el ámbito de las ciencias sociales.

Para impulsar la nueva filosofía natural, inspirada en el programa baconiano, se crearon nuevas instituciones (Sociedades científicas, observatorios astronómicos, laboratorios, etc.), en torno a las cuales se aglutinaron las comunidades científicas emergentes. Las Universidades se opusieron al cambio, salvo raras excepciones, originándose célebres procesos y disputas entre los defensores de la nueva metodología científica y los mantenedores del método aristotélico y de la estructura medieval del saber. Como resultado de este largo proceso, la ciencia moderna se fue institucionalizando poco a poco, con notables diferencias según los países y las disciplinas.

A lo largo del siglo XVIII, los científicos encontraron importantes aliados en los impulsores de la Revolución Industrial, sobre todo en Gran Bretaña, donde la ciencia newtoniana tuvo una amplia difusión social. Con la Revolución francesa y la instauración de la educación obligatoria, la difusión social de los conocimientos científicos quedó garantizada progresivamente, al par que se creaba un sistema de reproducción de las comunidades científicas emergentes. Durante el siglo XIX otros países europeos siguieron el ejemplo francés, con lo que la ciencia se insertó en el sistema educativo europeo, culminándose la revolución científica. La Universidad Humboldt en Alemania y la *Polytechnique* francesa se convirtieron en modelos a imitar en todo el continente.

La primera revolución industrial se produjo en Gran Bretaña. Su impacto social, económico y político fue enorme en Europa. Uno de sus principales motores fue la tecnología. La ciencia sólo tuvo una influencia indirecta en el desarrollo industrial. Ambas revoluciones, la científica y la industrial, han sido constitutivas de la Era Moderna, junto con los profundos cambios políticos que llevaron a instaurar formas democráticas de gobierno en algunos países europeos, así como en

los EEUU de América. Durante la Segunda Revolución Industrial, la alianza entre la industria, la tecnología y la ciencia se consolidó en algunos países (Gran Bretaña, Alemania, en menor medida Francia), generándose dos nuevas profesiones, la de científico y la de ingeniero. A lo largo del siglo XIX la ciencia y la tecnología interactuaron estrechamente, con mutuos beneficios, aun formando parte de sectores profesionales claramente diferenciados. Los científicos comenzaron a mostrar que sus conocimientos podían ser muy útiles para la industria y para la guerra. Los países que promovieron la colaboración entre la ciencia, la tecnología y la industria, se convirtieron en grandes potencias a lo largo del siglo XIX, en detrimento de antiguas potencias (España, Portugal, Turquía) que no dieron el paso a la nueva sociedad científico-industrial.

Tomando como referente estas dos grandes revoluciones de la Era Moderna ¹, en este libro vamos a analizar un cambio no menos importante, la revolución tecnocientífica, que implica un nuevo modo de hacer ciencia. Se inició en los EEUU en la época de la Segunda Guerra Mundial, se consolidó con la Guerra Fría y, ulteriormente se ha ido extendiendo a otros países, en particular por Europa, Japón y Canadá. Nos centraremos en los EEUU, puesto que, así como la ciencia moderna fue una creación europea, la tecnociencia contemporánea tiene una fuerte impronta norteamericana. Distinguiremos tres etapas. En la primera (1940-1965), emerge la macrociencia (*Big Science*), a la que consideraremos como la primera modalidad de tecnociencia. La investigación básica desempeñó un papel fundamental como motor de la macrociencia, sobre todo en el ámbito de la física, pero también de la química y las matemáticas. Tras una década de crisis y estancamiento (1966-1976), provocada por el fracaso norteamericano en la guerra del Vietnam y por la amplia contestación social que se suscitó en los EEUU y en Europa contra la macrociencia militarizada (mayo de 1968), en el último cuarto de siglo surgió la tecnociencia propiamente dicha, impulsada por algunas grandes empresas, más que por los Estados, y centrada en el desarrollo de nuevas tecnologías. La tecnociencia también procede de los EEUU, aunque se ha expandido rápidamente por otros países. La Unión Soviética no fue capaz de dar el nuevo salto, por falta de capacidad financiera y de tejido empresarial. Si consideramos a la macrociencia y a la tecnociencia como la primera y la segunda revolución tecnocientífica, respectivamente, cabe decir que el actual predominio militar, económico, político, diplomático y comercial de los EEUU proviene, entre otras razones, de su liderazgo tecnocientífico.

La ciencia no ha desaparecido. Las Sociedades científicas y la ciencia académica siguen existiendo. Sin embargo, sus dos nuevos retoños, la macrociencia y la tecnociencia, manifiestan un enorme empuje, hasta el punto de que algunos autores tienden a pensar que, hoy en día, todo es tecnociencia. Trataremos de mostrar que no es así, especificando las diferencias que

¹ La tercera fue la revolución política, que instauró la democracia en dichos países (Inglaterra, EEUU, Francia, etc.) y el Estado de Derecho, creando Estados laicos, con separación de los tres poderes y principio de soberanía popular basado en la democracia representativa. La cuarta, el capitalismo, principal motor del desarrollo industrial, militar y colonial.

hay entre la ciencia y la macrociencia, en primer lugar (capítulo 1), y entre la ciencia y la tecnociencia (capítulo 2). La revolución tecnocientífica difiere en aspectos fundamentales de las revoluciones científicas de las que habló Kuhn, motivo por el cual dedicaremos el capítulo 3 a precisar esas diferencias. Más que el conocimiento, transforma la práctica científico-tecnológica, generando una nueva estructura, los sistemas nacionales de ciencia y tecnología (SCyT), de los que nos ocuparemos brevemente en el capítulo 4, centrándonos en el sistema norteamericano, que sigue siendo el canónico. Aunque el desarrollo de la tecnociencia ha generado nuevas teorías científicas y grandes descubrimientos, los paradigmas básicos siguen subsistiendo en física, química, biología y matemáticas. No estamos ante una revolución epistemológica ni metodológica, aunque haya habido grandes cambios en el conocimiento y en los métodos científicos, sino ante una revolución praxiológica. Por ello trataremos de analizar la nueva estructura de la práctica científico-tecnológica, que es la característica más acusada de la revolución tecnocientífica. Para ello trataremos de elucidar dos conceptos básicos: los sistemas tecnocientíficos y las acciones tecnocientíficas. Frente a la revolución científica del XVII, que modificó la estructura del conocimiento, la revolución tecnocientífica del siglo XX ha transformado ante todo la estructura de la práctica científico-tecnológica. En particular, han cambiado los sistemas de valores que guían la actividad científica, razón por la cual dedicaremos el capítulo 5 a la axiología de la tecnociencia. No es la única aproximación filosófica posible, pero a nuestro entender es una de las más claras y prometedoras. Los valores de la tecnociencia son mucho más amplios y complejos que los de la ciencia moderna. Los conflictos de valores son una componente estructural de la tecnociencia.

La revolución tecnocientífica no sólo ha cambiado las ciencias y las tecnologías. Además, ha contribuido a generar un gran cambio económico y social, la revolución informacional, que se inició en las últimas décadas del siglo XX y que, previsiblemente, se seguirá desarrollando durante el siglo XXI. La vinculación entre la tecnociencia y la emergente sociedad de la información es estrechísima, por lo que dicha alianza puede ser comparada con la que mantuvieron la ciencia y la tecnología modernas con la revolución industrial. Estas dos nuevas revoluciones no tienen su origen en Europa, sino en los EEUU de América, que han pasado a convertirse en una potencia hegemónica en todo el mundo, en parte por su decidido apoyo a la tecnociencia. Así como la ciencia moderna fue europea, la tecnociencia es norteamericana, al igual que la revolución informacional. En el momento actual ambas revoluciones se expanden por otros países. Al hacerlo, surgen versiones diferentes de la tecnociencia, en función de las diversas culturas en las que se inserta. Cabe decir que el Primer Mundo está formado por aquellos países en donde estas dos nuevas revoluciones se han consolidado, o están en avanzada fase de desarrollo. Al concepto moderno de desarrollo industrial, científico y tecnológico, hay que añadir la noción contemporánea de desarrollo tecnocientífico e informacional. Un país puede ser una potencia científica e industrial, y sin embargo estar subdesarrollado desde el punto de vista tecnocientífico e informacional. Por ello entendemos que la tecnociencia es uno de los grandes desafíos del siglo XXI.

Los nuevos modos de producción de riqueza y conocimiento han modificado radicalmente las relaciones de poder y la distribución de la riqueza en los países, regiones y empresas. El poder

militar, por ejemplo, requiere un alto desarrollo tecnocientífico e informacional. Conviene tener presente que la tecnociencia no sólo sirve para crear, descubrir, inventar y construir, sino también para aniquilar y destruir. Los vínculos entre la tecnociencia y las instituciones militares han sido y siguen siendo estrechísimos, y ello desde el origen de la macrociencia. Los seres humanos han desarrollado infinidad de conflictos bélicos a lo largo de la historia, pero la Segunda Guerra Mundial y las contiendas ulteriores en las que han participado los EEUU (Corea, Guerra Fría, Vietnam, Golfo Pérsico, Kosovo, Afganistán ...) suponen una novedad radical: la tecnociencia es una condición necesaria para la victoria militar. Por muchos soldados y mucha valentía que se posea, la derrota bélica está garantizada si no se tiene un desarrollo tecnocientífico adecuado. Otro tanto cabe decir del ámbito empresarial, sobre todo en la época de la globalización. En resumen, la tecnociencia es una condición de posibilidad del poder económico y militar, razón por la cual los países más poderosos son los que tienen un alto nivel de desarrollo tecnocientífico e informacional. La curiosidad y la búsqueda de conocimiento pudieron estar a la base de la emergencia de la ciencia moderna. En cambio, la lucha por el poder es el motor de la tecnociencia contemporánea. Por ello acabaremos esta obra con una reflexión sobre la tecnociencia y el poder.

La revolución de la ciencia moderna ha sido ampliamente estudiada por historiadores, sociólogos y filósofos. La historia, la filosofía y la sociología de la ciencia se constituyeron a principios del siglo XX y se centraron en el estudio de la ciencia moderna, incluidas las revoluciones científicas del siglo XIX y principios del XX : química (tabla periódica, química orgánica), matemáticas (Análisis, geometrías no euclídeas, teoría de conjuntos), biología (Darwin, Mendel), Geología (Lyell) y Física (Einstein, teoría cuántica). La filosofía de la ciencia, que constituye el punto de partida de esta obra, ha sido ante todo lógica, epistemología y metodología de la ciencia. Por ello se ha ocupado del análisis y reconstrucción del conocimiento científico, centrándose en los conceptos, leyes, hechos y teorías, instaurando la distinción teórico/observacional, subrayando los aspectos lógico-lingüísticos del conocimiento y desarrollando concepciones enunciativas del método científico, tanto lógico-deductivas como lógico-inductivas y estadísticas. Sin minusvalorar esa metateoría de la ciencia, que ha hecho grandes aportaciones a los estudios de la ciencia, pensamos que resulta insuficiente para abordar la tecnociencia. Puesto que la ciencia ha cambiado, convirtiéndose en tecnociencia, la filosofía de la ciencia ha de modificar considerablemente sus planteamientos, deviniendo filosofía de la tecnociencia. Para eso ha de centrarse más en la actividad científica que en el conocimiento, desarrollando una teoría de la acción científica y prestando mucha más atención a la tecnología. El principal propósito del presente libro consiste en dar pasos en esa dirección, sin olvidar el punto de partida, pero abordando un nuevo objeto de reflexión, la tecnociencia, que difiere en muchos y muy relevantes aspectos de la ciencia y la tecnología modernas. Lo que decimos de la filosofía de la ciencia vale también para otros estudios de ciencia y tecnología, es decir para la historia, la sociología, la pedagogía la psicología, la antropología, la política o la economía de la ciencia y la tecnología, aunque aquí no vayamos a ocuparnos de esas cuestiones. Si la ciencia ha cambiado, como mantendremos en estas

páginas, los estudios de ciencia y tecnología también han de cambiar, prestando mayor atención a la ciencia del siglo XX, que ya es historia, aunque en buena medida sin hacer. Por ello nos limitaremos a un período de tiempo, el posterior a la segunda guerra mundial, y a un país, los EEUU, que es donde surgió la tecnociencia. Es seguro que la indagación del desarrollo de la macrociencia y la tecnociencia en la URSS, en Europa, en Japón y en otros países aportará matizaciones importantes a las tesis que aquí vamos a afirmar. Aun así, esperamos que esta primera incursión en la filosofía de la tecnociencia del siglo XX pueda aportar algo a los estudios de ciencia, tecnología y sociedad, no sólo a la filosofía de la ciencia. En conjunto, se trata de desarrollar los estudios de la tecnociencia, filosóficos, sociológicos, históricos, pedagógicos o de otro tipo, incluyendo estudios científicos sobre la tecnociencia (cientometría, indicadores de desarrollo tecnocientíficos, etc.). Los estudios CTS (Ciencia, Tecnología y Sociedad) constituyen el ámbito donde pueden confluir e interactuar todas estas perspectivas.

Nosotros nos ceñiremos ante todo a las cuestiones axiológicas, porque completan los estudios epistemológicos y metodológicos clásicos, y porque la Axiología de la Ciencia y de la Tecnología está mucho menos desarrollada. Resumiendo, en este libro expondremos las tesis siguientes:

1.- A lo largo del siglo XX, y sobre todo a partir de la Segunda Guerra Mundial, ha aparecido y se ha consolidado una nueva modalidad de ciencia, la tecnociencia o megaciencia (*Big Science*)². Inicialmente usaremos ambas expresiones como sinónimas, aunque luego estableceremos matices diferenciales entre ambas.

2.- Dicho cambio es lo suficientemente importante como para que podamos compararlo con la revolución científica moderna. Por ello hablaremos de revolución tecnocientífica, o mejor, de revoluciones tecnocientíficas, puesto que se producen en casi todas las disciplinas científicas, aunque de manera diversa en unas y otras.

3.- La revolución tecnocientífica es uno de los motores principales, aunque no el único, de un cambio social y económico más profundo, la revolución informacional, que por su relevancia puede ser comparado a la revolución industrial. Dicho sucintamente: así como la ciencia fue vital para el desarrollo de la sociedad industrial, así también la tecnociencia es una componente básica de la sociedad informacional.

4.- Los diversos estudios sobre la ciencia y la tecnología (históricos, filosóficos, sociológicos, políticos, culturales, antropológicos, económicos, etc.) han de afrontar el reto suscitado por la revolución tecnocientífica, dando lugar a los estudios de la tecnociencia. Esta tendencia ya se advierte en los últimos años del siglo XX, caracterizados por una profunda transformación de los estudios transdisciplinares de ciencia y tecnología.

² La expresión *Big Science* fue introducida por Solla Price en 1968 en su libro Big Science, Little Science (trad. Española, Hacia una ciencia de la ciencia, Barcelona, Ariel, 1973), aunque ya había sido propuesto en 1961 por Alvin Weinberg cuando dirigía el Oak Ridge Laboratory. Dicha denominación es usada habitualmente por los científicos.

5.- En el caso de la filosofía de la ciencia y de la tecnología, perspectiva desde la cual se escribe este libro, es preciso ocuparse ante todo del análisis filosófico de la actividad tecnocientífica, en lugar de centrarse en el conocimiento científico o en los artefactos tecnológicos, como han hecho tradicionalmente la filosofía de la ciencia y la filosofía de la tecnología. Conforme a ello, haremos unas primeras propuestas para analizar la estructura de la actividad tecnocientífica. Para ello estudiaremos el momento que, por lo general, es considerado fundacional de la macrociencia, es decir el informe de Vannevar Bush (1945), en el que se diseñó el sistema científico tecnológico que permitió la consolidación de la tecnociencia en EEUU, y posteriormente en otros países industrial, tecnológica y científicamente desarrollados.

6.- La filosofía de la ciencia del siglo XX dedicó muchos esfuerzos a justificar el conocimiento científico, su objetividad y racionalidad. Una de las vías que siguió para ello fue la búsqueda de los fundamentos de la ciencia. Se sobreentendía que, puesto que la ciencia era conocimiento, dichos fundamentos (principios, leyes, estructura lógica de las teorías, base empírica, hechos) también debían ser conocimiento, o a lo sumo metodología para obtener conocimiento válido. A nuestro juicio, esta vía es inadecuada para indagar los fundamentos de la tecnociencia. Al problema filosófico tradicional de la justificación del conocimiento científico se le superpone otra cuestión, acaso más importante: la validación de la práctica científica.

7.- Por último, y prosiguiendo la línea seguida en publicaciones recientes³, nos ocuparemos ante todo de los valores de la tecnociencia (capítulo 5), por ser uno de los ámbitos donde la revolución tecnocientífica tiene mayor impacto. Frente a la neutralidad axiológica de la tradición positivista y a la restricción a los valores epistémicos o valores internos a la ciencia (Laudan), afirmaremos y desarrollaremos la tesis del pluralismo axiológico de la tecnociencia, que incluye el supuesto de conflictos axiológicos continuados en la actividad tecnocientífica. Para analizar los valores de la tecnociencia en sus diversos contextos y situaciones usaremos dos instrumentos formales, las matrices de evaluación y las cotas o umbrales de evaluación. En el capítulo 5 mostraremos que los indicadores de ciencia y tecnología que se usan habitualmente en política científica son modalidades de dichas matrices, así como los diversos protocolos de evaluación que se utilizan en la práctica tecnocientífica cotidiana. La axiología proporciona un poderoso instrumento de análisis que aglutina e integra en un mismo marco conceptual a las diversas herramientas usadas hoy en día para valorar las acciones tecnocientíficas y sus resultados. Esta será la aportación práctica más significativa de esta obra.

Capítulo I

Ciencias, macrociencias y tecnociencias

I.1: Microciencia y macrociencia.

³ J. Echeverría, Filosofía de la ciencia (Madrid, Akal, 1995) y Ciencia y Valores (Barcelona, Destino, 2002).

Derek J. de Solla Price, físico e historiador de la ciencia, impartió en 1962 las conferencias Pegasus en el Laboratorio Nacional de Brookhaven, uno de los más importantes de los EEUU para la aplicación pacífica de la energía nuclear. En ellas se propuso introducir una metodología cuantitativa para el estudio de la ciencia. “¿Por qué no aplicar los recursos de la ciencia a la ciencia misma? ¿Por qué no medir y generalizar, plantear hipótesis y extraer conclusiones?” – se preguntaba al empezar ⁴. Conforme a su formación de físico, Solla Price se interesó por el tamaño y la forma de la ciencia, en lugar de centrarse en los contenidos, las teorías y los descubrimientos, como habían hecho los filósofos e historiadores de la ciencia desde principios del siglo XX. “Considerando la ciencia como una entidad mensurable” –decía– “intentaré calcular el personal científico, la literatura, el talento y los gastos a escala nacional e internacional” ⁵. A dichas magnitudes se les llama actualmente indicadores del desarrollo científico y tienen gran importancia para orientar las políticas científicas. Esta línea de indagación generó una nueva disciplina, la Cientometría (*Scientometrics*), que ha tenido gran desarrollo en la segunda mitad del siglo XX y forma parte de los estudios cuantitativos sobre ciencia y tecnología.

Los datos que presentó Solla Price, todos ellos referidos a los EEUU, le permitieron afirmar que la ciencia había crecido exponencialmente en tamaño durante el siglo XX. Dicho incremento afectó al número de científicos, las publicaciones, las novedades y descubrimientos logrados y también a la financiación de la actividad científica. Por poner un ejemplo, en los años 60 vivía el 80-90% de los científicos que jamás había habido en la historia. Ese crecimiento vertiginoso le llevó a proponer la hipótesis de que la ciencia había entrado en una nueva fase, la Gran Ciencia o macrociencia (*Big Science*). La caracterizó mediante dos leyes matemáticas, ambas conjeturales y sujetas a contrastación empírica: la ley de crecimiento exponencial y la ley de saturación. La primera afirmaba que “la ciencia crece a interés compuesto, multiplicándose por una cantidad determinada en iguales períodos de tiempo” ⁶. El período de duplicación del tamaño de la ciencia lo fijó en 15 años. La segunda ley matizaba la exponencialidad y proponía como modelo de crecimiento la curva logística, según el cual el crecimiento exponencial con duplicación cada 15 años no es más que el comienzo de una curva logística, que posteriormente llega a un techo o línea de saturación. A partir de dicha cota el crecimiento puede estancarse, en cuyo caso la ciencia entraría en una fase de senilidad, o bien puede recuperar el ritmo exponencial, entrando en una nueva fase de crecimiento acelerado ⁷. Cuarenta años después, no cabe duda de que la segunda hipótesis ha sido la acertada.

Los datos y los modelos matemáticos propuestos por Solla Price han sido corregidos y afinados ulteriormente por los expertos en Cientometría, pero en gran medida siguen siendo válidos. Desde una perspectiva filosófica, lo que interesa es que la ley de crecimiento exponencial le llevó a proponer una distinción conceptual que ha tenido gran aceptación entre los científicos:

⁴ D.J. de Solla Price, Hacia una ciencia de la ciencia, Barcelona, Ariel, 1973, p. 23.

⁵ Solla Price, o.c., p. 24.

⁶ Ibid., p. 37. Solla Price la consideró como “la ley fundamental para cualquier análisis de la ciencia” (p. 38).

⁷ La formulación más general de la segunda ley es: “Todas las leyes de crecimiento aparentemente exponencial son en último extremo logísticas, lo que implica un período de crisis cuyo punto medio se encuentra a la distancia aproximada de una generación” (Ibid., pp. 64-65).

por una parte existiría la Pequeña Ciencia (siglos XVII, XVIII y XIX) y por otra la Gran Ciencia (siglo XX). Ambas se distinguen por su ritmo de crecimiento, muy lento en el primer caso, muy rápido en el segundo. Conviene considerar si esa distinción entre dos tipos de ciencia se justifica filosóficamente y, sobre todo, si las diferencias de tamaño y de ritmo de crecimiento son razón suficiente para introducir una distinción conceptual tan importante y si ésta es puramente cuantitativa, o también cualitativa.

La noción de macrociencia (*Big Science*) había sido sugerida el año anterior por Alvin Weinberg, quien había sugerido un criterio económico para definirla: para que un proyecto sea considerado como macrocientífico es preciso que su realización requiera una parte significativa del producto interior bruto (PIB) de un país ⁸. Conforme al criterio de Weinberg, la distinción entre ciencia y macrociencia es ante todo presupuestaria ⁹. Solla Price aceptó este criterio económico, pero quiso precisarlo y formalizarlo. Para ello propuso un modelo matemático que justificaba la necesidad de incrementar considerablemente la financiación de la ciencia. La distinción conceptual que introdujo afirmaba que la investigación científica había entrado en un nuevo estadio histórico, razón por la que había que replantearse el problema de su financiación: "la ciencia de hoy desborda tan ampliamente la anterior, que resulta evidente que hemos entrado en una nueva era que lo ha barrido todo, a excepción de las tradiciones científicas básicas" ¹⁰. Por último, Solla Price sugirió que su investigación no era más que un primer paso: "si hemos de caracterizar la fase actual como algo nuevo, distinto de la ciencia burguesa común a Maxwell, a Franklin y a Newton, no podemos basarnos únicamente en una tasa de crecimiento" ¹¹. Dejaba así abierta la vía para distinguir la macrociencia de la ciencia no sólo por su tamaño, sino también mediante criterios cualitativos y culturales.

La cuestión fue retomada en un Simposio organizado por la Universidad de Stanford en 1988, cuyas Actas han sido editadas por dos historiadores de la ciencia, Peter Galison y Bruce Hevly. Para Hevly, "la macrociencia no es ciencia hecha con instrumentos grandes o caros" ¹². Los altos presupuestos y los grandes instrumentos son indicadores del cambio, pero, según Hevly, la macrociencia se caracterizó desde el principio por ¹³:

a) La concentración de los recursos en un número muy limitado de centros de investigación

⁸ Alvin M. Weinberg, "Impact of large-scale science on the United States", *Science*, 134 (21 de julio de 1961), p. 164. Weinberg propuso definir la macrociencia mediante un criterio económico, según el cual los proyectos macrocientíficos requieren una parte significativa del producto nacional bruto. Véase A. M. Weinberg, *Reflections on Big Science*, Cambridge, Mass., MIT Press, 1967.

⁹ Este tipo de criterio para distinguir la macrociencia se convirtió en estándar. En el *World Inventory of „Big Science“ Research Instruments and Facilities* editado en 1986 por el Congreso de los EEUU, se hablaba de macrociencia para aludir a grandes aparatos científicos que hubieran sido construidos con posterioridad a 1920 y que hubieran costado como mínimo 25 millones de dólares, en dólares constantes de 1984.

¹⁰ Solla Price, *o.c.*, p. 34.

¹¹ *Ibid.*, p. 50.

¹² B. Hevly, "Reflections on Big Science and Big History", en P. Galison and B. Hevly (eds.), *Big Science: the Growth of Large-Scale Research*, Stanford, Stanford Univ. Press, 1992, p. 356.

¹³ *Ibid.*, pp. 356-357.

- b) La especialización de la fuerza de trabajo en los laboratorios.
- c) El desarrollo de proyectos relevantes desde el punto de vista social y político, que contribuyen a incrementar el poder militar, el potencial industrial, la salud o el prestigio de un país.

En dicho Simposio también se debatió el problema del origen de la macrociencia, así como su evolución ulterior. El propio Hevly apuntó otras peculiaridades de la macrociencia, que se han ido manifestando a lo largo de su evolución posterior ¹⁴:

- d): La relación entre ciencia y tecnología ha tomado nuevas formas, que han influido en la naturaleza de ambas.
- e): La macrociencia requiere la interacción entre científicos, ingenieros y militares. Galison confirmó este punto, al afirmar tajantemente que "es manifiestamente imposible examinar la gran ciencia sin tener en cuenta la ciencia de la guerra" ¹⁵.

Otros autores también presentaron otras propuestas para caracterizar la macrociencia. Robert W. Smith, por ejemplo, recordó que "entre las características que han sido identificadas en la gran ciencia están la politización, la burocratización, el alto riesgo y la pérdida de autonomía" ¹⁶. Galison dijo que la megaciencia tiene muchas caras, por lo que su indagación es difícil y compleja. Todos los analistas apuntaron que la discontinuidad entre la ciencia pequeña y la grande es en parte ficticia, lo cual no impide la conveniencia de mantener dicha distinción. Panofsky, uno de los grandes promotores de la Gran Ciencia en la Universidad de Stanford (proyecto MARK III), dijo que "no hay conflicto entre la pequeña y la gran ciencia, y de hecho hay un continuo de escala entre las diferentes actividades" ¹⁷. Con ello retomaba las tesis iniciales de Solla Price, insistiendo en que el tránsito de la ciencia a la megaciencia fue evolutivo, no revolucionario.

No faltaron autores que investigaron la emergencia de la megaciencia en Europa (el CERN) o en Japón (ciudad de la ciencia de Tsukuba), mostrando que hay diferencias culturales importantes en su desarrollo según los países y las disciplinas. En resumen, tanto los participantes en el Simposio de Stanford como otros autores que se han ocupado de esta cuestión, coinciden a la hora de usar el término „macrociencia" para aludir a una nueva etapa del desarrollo de la ciencia, pero difieren entre sí a la hora de intentar precisarlo y definirlo. La mayoría de los estudiosos suscribirían la afirmación de Sánchez Ron, según la cual "la Gran Ciencia es un procedimiento de investigación característico de nuestro siglo" ¹⁸, refiriéndose al siglo XX. Pero sobre las notas que definen a la Gran Ciencia las posturas son muy diversas. Inferimos de todo ello que merece la pena precisar conceptualmente las diferencias entre la ciencia y la megaciencia y optamos por una perspectiva filosófica para ella. No en vano la filosofía se ha esforzado en elucidar los conceptos a lo largo de su historia.

¹⁴ Ibid., pp. 357-358.

¹⁵ P. Galison, "The Many Faces of Big Science", en Galison y Hevly, o.c., p. 13.

¹⁶ R. S. Smith, "The Space Telescope", en Galison y Hevly, o.c., p. 186.

¹⁷ W.K.H. Panofsky, "SLAC and Big Science: Stanford University", en P. Galison y B. Hevly, o.c., p. 145.

¹⁸ Sánchez Ron, o.c., p.36.

A lo largo de esta obra mantendremos que a lo largo del siglo XX no sólo han cambiado el tamaño y el ritmo de crecimiento de la ciencia, sino algo mucho más profundo, a saber: la estructura de la actividad tecnocientífica. La caracterización económica de Weinberg y los modelos cuantitativos de Solla Price son indicadores de dicho cambio, pero no son su causa. La emergencia de la megaciencia implicó un cambio profundo en la práctica científica, del que se derivan otros muchos cambios, algunos de gran envergadura. Por ello, mantendremos también la tesis de que a lo largo del siglo XX se ha producido una profunda revolución en la ciencia y la tecnología: una revolución tecnocientífica. Puesto que, al hablar de revoluciones científicas, la obra de Thomas Kuhn es de referencia obligada, no sólo nos ocuparemos de distinguir la ciencia de la macrociencia y la tecnociencia (capítulo 1), sino que también analizaremos la noción de „revolución tecnocientífica“, distinguiéndola de las revoluciones científicas kuhnianas (capítulo 2). Dicho sucintamente, las revoluciones científicas que estudió Kuhn (Copérnico, Galileo, Newton, Lyell, Lavoisier, Einstein, mecánica cuántica, etc.) transformaron ante todo la estructura del conocimiento científico. La revolución tecnocientífica del siglo XX, en cambio, está basada en un cambio radical de la estructura de la actividad científica, y por ello tiene múltiples facetas a analizar, incluidos los cambios de teoría que de ella se derivaron. Dicho cambio de estructura trajo consigo un incremento del tamaño de la ciencia, pero también modificó los objetivos de la ciencia, las comunidades científicas, los modos de organización de la investigación y los criterios de valoración de los resultados. En particular, produjo una profunda simbiosis entre ciencia y tecnología. Asimismo mantendremos que, tras la emergencia de la macrociencia, la progresiva empresarialización e informatización de la actividad investigadora generó a su vez un nuevo cambio cualitativo, que se ha manifestado sobre todo en el último cuarto del siglo XX. Por ello diremos que la macrociencia fue un preludio de la tecnociencia, o si se quiere una fase de transición. Filosóficamente hablando, el gran cambio experimentado por la ciencia en el siglo XX se analiza mejor si hablamos de tecnociencia que de macrociencia. Por esta razón consideraremos a la macrociencia como la primera modalidad de tecnociencia.

I.2: El origen de la macrociencia.

A título de hipótesis, Solla Price aceptó que “los cambios cataclísmicos asociados a la segunda guerra mundial fueron los que iniciaron la nueva era y ocasionaron todas las diferencias importantes (entre la Pequeña y la Gran Ciencia)”¹⁹. Así pues, situó el comienzo de la macrociencia en la época de la Segunda Guerra Mundial, aun aceptando que la transición de la Pequeña a la Gran Ciencia fue gradual²⁰.

Galison, Sánchez Ron y Seidel, entre otros, han señalado la importancia histórica que tuvo el diseño y construcción en Berkeley del primer ciclotrón por parte de Lawrence (1932)²¹.

¹⁹ Ibid., p. 51.

²⁰ Ibid., pp. 36-37.

²¹ Otros autores, como Michael Dennis, ha mostrado de manera convincente que establecer una frontera temporal entre la Pequeña y la Gran ciencia, así como señalar un origen histórico para esta última, implica creer en mitos. Ver M. Dennis, A Change of State: The Political Cultures of Technical Practice at the MIT Instrumentation Laboratory and the John Hopkins

Consecuentemente, tienden a fechar el comienzo de la Gran Ciencia en la década anterior a la Segunda Guerra Mundial²². Efectivamente, el proyecto de Lawrence es un buen ejemplo de propuesta macrocientífica, aunque no hay que olvidar que los grandes ciclotrones y aceleradores de partículas fueron construidos a partir de 1940. Pero, desde nuestro punto de vista, el debate sobre el momento concreto en que surgió la megaciencia es vano. No estamos ante un descubrimiento que pudiera ser atribuido a una persona concreta, ni fechado y ubicado en un tiempo y lugar determinados²³, sino ante un cambio en la estructura de la actividad científica, que requirió un amplio lapso de tiempo para surgir, consolidarse y desarrollarse. La revolución tecnocientífica no la hizo una persona ni un Centro de investigación. Tampoco fue un cambio epistemológico, metodológico o teórico, al modo de la revolución científica del siglo XVII. Fue una transformación radical de la actividad investigadora que se produjo en varios centros de investigación a la vez, aunque en algunos cristalizó con mayor rapidez y claridad de ideas. Lo que es más, no sólo se produjo en los laboratorios y centros de investigación, sino también en otros escenarios (despachos de política científica, empresas, fundaciones, centros de estudios estratégicos, etc.). Por otra parte, la emergencia de la tecnociencia no sólo afectó a la investigación, sino también a la gestión, aplicación, evaluación, desarrollo y difusión de la ciencia, es decir, a la actividad científica en su conjunto. La revolución tecnocientífica fue un proceso prolongado y complejo, que todavía ahora se sigue produciendo, en la medida en que la tecnociencia sigue expandiéndose por diversos países. En cada uno de ellos adoptó modalidades diferentes, al igual que en las diversas disciplinas. Pero, aun así, hay una serie de rasgos comunes que permiten caracterizar la nueva estructura de la práctica científicotecnológica, como veremos a continuación.



Por tanto, situaremos el comienzo de la megaciencia en la época de la Segunda Guerra Mundial, subrayando que se produjo en los EEUU de América y en el ámbito de la físico-matemática militarizada, como muestran los cuatro grandes proyectos que consideramos como cánones iniciales de la Gran Ciencia: el *Radiation Laboratory* de Berkeley, el *Radiation Laboratory* del M.I.T., el proyecto ENIAC de la Moore School de Pennsylvania y, sobre todo, el Proyecto Manhattan (Los Alamos), auténtico paradigma de la macrociencia, que condujo a la

University Applied Physics Laboratory, 1930-1945, tesis doctoral en la John Hopkins University, 1990. Dicho autor afirma que ya había macrociencia en los años 30 en esas dos Universidades norteamericanas.

²² P. Galison, "The many faces of Big Science", en P. Galison and B. Hevly, Big Science, Stanford, Cal., Stanford Univ. Press, 1992, p. 3, R. Seidel, "The Lawrence Berkeley Laboratory", en Ibid., pp. 21-45 y J. M. Sánchez Ron, Falsos mitos: ciencia versus tecnología, Madrid, Fundación Repsol, 1998, p. 38. El ciclotrón de Lawrence de 1932 tenía 30 cm. de diámetro y 1 millón de voltios de potencia. En 1939 se construyó en Berkeley un ciclotrón de 16 millones de voltios. El tamaño y potencia de los ciclotrones aumentó enormemente a partir de los 40, hasta llegarse al célebre proyecto –abortado finalmente por el Congreso de los EEUU en 1993– del Supercolisionador Superconductor, que hubiera tenido un túnel de 95 kilómetros de longitud, una energía 20 veces más alta que todos los existentes y un coste estimado de unos 8.000 millones de dólares.

²³ No se olvide que tanto Merton como Kuhn subrayaron que los descubrimientos científicos frecuentemente se producen de manera simultánea e independiente. Numerosas controversias históricas por la prioridad en el descubrimiento así lo atestiguan.

fabricación de las primeras bombas atómicas²⁴. Otros países (Alemania, Gran Bretaña) desarrollaron proyectos similares en la Segunda Guerra Mundial, e incluso antes²⁵. Pero durante la postguerra carecieron de recursos económicos y de apoyo político suficiente para impulsar la tecnociencia. Esos países priorizaron la reconstrucción, en lugar de crear un sistema nacional de ciencia y tecnología que les llevara al liderazgo mundial en la época de la postguerra, como hicieron los EEUU. En el caso americano, la tecnociencia emergente contribuyó decisivamente a su victoria militar. Pero la decisión clave consistió en impulsar la nueva estructura organizativa de la megaciencia durante la postguerra, utilizando importantes fondos públicos para ello. Finalizado el conflicto bélico, el único país que estaba en condiciones económicas, políticas y militares para desarrollar la Gran Ciencia eran los EEUU. Por tanto, la megaciencia surge en los cuatro centros antes aludidos (y en otros que podrían mencionarse), pero la nueva estructuración de la actividad científica sólo se produce a partir de 1945, más concretamente con la aprobación del informe Bush y su progresiva puesta en funcionamiento.



Partiremos pues de la hipótesis de Solla Price: la nueva modalidad de actividad científica se configuró ante todo en los EEUU en la década de los 40. Aparte de los cuatro grandes proyectos que hemos mencionado, un momento clave es el Informe de Vannevar Bush sobre política científica (Science, the Endless Frontier, 1945), del que nos ocuparemos con mayor detalle en el capítulo 4. En dicho informe se afirmaba que la investigación básica es el motor de la innovación tecnológica y que ésta, con ayuda de la industria y de las agencias estatales, es condición necesaria para el progreso económico y social de un país, así como para la seguridad nacional. La investigación científica no se justificaba ya por la búsqueda de la verdad ni por el dominio de la naturaleza. Dichos objetivos, que caracterizaron la emergencia de la ciencia y la tecnología modernas, siguieron existiendo, pero surgieron otros nuevos, mucho más—específicos de la tecnociencia. En concreto, se trataba de garantizar el predominio militar, político, económico y comercial de un país. A lo largo de esta obra mantendremos la tesis de que la tecnociencia se caracteriza ante todo por la emergencia, consolidación y desarrollo estable de un sistema científico-tecnológico que da un lugar a un nuevo modo de producción de conocimiento. A diferencia de la Primera Guerra Mundial, tras cuya conclusión se volvió a la actividad científica y tecnológica normales, el informe Bush diseñó un sistema científico-tecnológico de nuevo cuño que podría valer tanto para la paz como para la guerra²⁶. Entre otros aspectos, la tecnociencia

²⁴ El *Radiation Laboratory* del *Massachusetts Institute of Technology* se fundó en 1940 y rápidamente se especializó en el proyecto radar, de gran alcance científico, pero también tecnológico y militar. Tras la guerra, los radares también tuvieron gran aplicación en la aviación y navegación civil. Prosiguiendo con esta línea de investigación los laboratorios Bell descubrieron en 1947 el transistor, otro gran ejemplo de innovación tecnocientífica. En cuanto al proyecto ENIAC, permitió la construcción del primer ordenador multipropósito, cuyo diseño fue hecho por von Neumann, pero cuya puesta en funcionamiento no hubiera sido posible sin la estrecha colaboración de físicos, matemáticos e ingenieros. Al igual que el Proyecto Manhattan, ambos proyectos fueron financiados por el Ejército Estadounidense y sus resultados permanecieron secretos mientras duró la guerra. Ver Sánchez Ron, o.c., pp. 43-52 y Robert Seidel, "The Origins of the Lawrence Berkeley Laboratory", en Galison y Hevly, o.c., pp. 21-45.

²⁵ Otro ejemplo de megaciencia durante ese período podría ser la Criptología, con proyectos británicos, alemanes, franceses y estadounidenses en competencia.

²⁶ En relación con el informe Bush y las iniciativas legislativas que le precedieron seguimos lo expuesto por Bruce L. R. Smith en su libro American Science Policy since World War II (Washington, The Brookings Institution, 1990).

se caracteriza por la instrumentalización del conocimiento científico-tecnológico. El avance en el conocimiento deja de ser un fin en sí mismo para convertirse en un medio para otros fines.

I.3: Macrocienza y tecnociencia.

La distinción entre Pequeña Ciencia y Gran Ciencia puede ser mejorada si se utiliza el término „tecnociencia”y se considera que la *Big Science* es la primera modalidad histórica de la tecnociencia, a la que luego han seguido otras, para cuya identificación hay que recurrir a otros criterios, aparte de los de tamaño y crecimiento propuestos por Solla Price.

Aceptaremos las propuestas de Weinberg, Hevly, Galison y Smith, pero intentaremos organizar mejor el sistema de rasgos distintivos entre ciencia y tecnociencia. La tecnociencia, por ejemplo, no sólo modifica la ciencia: también transforma la actividad tecnológica, industrial y militar, gracias al desarrollo de un sistema nacional de ciencia y tecnología que trasciende los límites de las comunidades científicas y genera empresas tecnocientíficas, superpuestas a las comunidades científicas preexistentes. Los indicadores propuestos por Weinberg y Solla Price, al igual que los criterios usados por Hevly, Galison, Smith y otros, no bastan para explorar a fondo el concepto de „tecnociencia”. Por nuestra parte, la caracterizaremos mediante un conjunto de rasgos distintivos, con el fin de introducir un mínimo de rigor filosófico, que echamos en falta en buena parte de los estudios históricos sobre la macrociencia. Es preciso llevar a cabo un análisis conceptual detallado y desde varias perspectivas para distinguir adecuadamente entre ciencia, macrociencia y tecnociencia. Los criterios económicos, centométricos y sociológicos establecen algunas diferencias, pero no bastan.

Empezaremos con la primera modalidad de tecnociencia, es decir con la macrociencia. Esta se caracteriza por los siguientes rasgos distintivos:

(a): Financiación gubernamental.

El Gobierno Federal de los EEUU decidió impulsar la investigación básica, involucrándose activamente en el fomento de la ciencia, todo ello con el fin de que incrementar considerablemente el poder militar y comercial de los EEUU. Se rompía así una tradición de no intervención federal en los asuntos científicos, que se había mantenido durante el siglo XIX y comienzos del siglo XX. La investigación científica era responsabilidad exclusiva de las instituciones académicas, aunque solía estar financiada por mecenas, fundaciones, algunos Estados de la Unión y algunas empresas muy empresas. (...). Para ello, se financiaron grandes equipamientos y macroproyectos de investigación, algo que estaba fuera del alcance de los medios económicos de las universidades y centros de investigación, salvo raras excepciones. (...) En lo que se refiere a la investigación básica, los EEUU estaban por detrás de Alemania y de otros países europeos. Se trataba de corregir ese retraso en pocos años, fichando para ello a los mejores científicos europeos, muchos ellos con dificultades en sus países de origen a causa del ascenso del nazismo y el fascismo. Frente al tradicional mecenazgo de las Fundaciones o de los Estados, el Gobierno Federal y las Agencias militares decidieron invertir fuertemente en la

investigación básica, siempre que ésta se vinculara estrechamente a las líneas que los nuevos agentes consideraban estratégicas.

(b): Integración de científicos y tecnólogos.

Para el desarrollo de esos macroproyectos se requerían grandes equipamientos e inversiones, así como equipos de investigación multidisciplinarios y de gran tamaño. Ello exigió la colaboración (no exenta de conflictos internos) entre científicos, ingenieros, técnicos y financiadores de la investigación. Un macroproyecto científico no sólo persigue objetivos ligados a la búsqueda de conocimiento científico. También pretende generar avances y mejoras en las tecnologías disponibles, de modo que éstas fueran útiles a las instituciones financiadoras, y en particular al Ejército, la Armada y la Aviación. Por tanto, la macrociencia requiere que los ingenieros y los científicos colaboren estrechamente si quieren lograr sus objetivos respectivos, rompiéndose la separación disciplinar anterior.

(c): Contrato social de la ciencia.

(...) En resumen, la macrociencia no fue desarrollada únicamente por laboratorios, sino por un complejo de industrias científicas gestionadas y dirigidas conforme a modelos de organización empresarial y militar. A la ciencia académica se le superpuso un entramado industrial, político y militar que modificó radicalmente la organización de la investigación. Aun manteniendo su tradicional autonomía en los laboratorios, parte de la ciencia se industrializó, es decir, se convirtió en una empresa auxiliar de los grandes proyectos científico-tecnológicos. Como resultante de esta estrategia, se estableció lo que después fue llamado contrato social de la ciencia entre científicos, ingenieros, políticos, militares y corporaciones industriales. El informe de Vannevar Bush (1945) suele ser considerado como el texto fundacional de dicho contrato. Analizaremos su contenido con mayor detalle en el capítulo 4.

(d): Macrociencia industrializada.

(...) La investigación macrocientífica requiere grandes laboratorios, cuya construcción ha de ser realizada por las industrias, y cuyo uso es compartido por varios equipos de investigación. Se rompía así con la tradición de la ciencia académica, en la que institución o científico contaba con su propio laboratorio, surgiendo los equipamientos compartidos. Ello permitía optimizar los recursos, pero obligaba a coordinar las investigaciones de equipos distintos y a tener muy presentes los criterios de personas externas a las comunidades científicas. La emergencia de la macrociencia trajo consigo conflictos internos en las comunidades científicas: algunos se integraron en los macroproyectos de investigación, pero las críticas y las resistencias fueron muchas. El núcleo duro de la macrociencia se concentró en los despachos de dirección, donde se tomaban las decisiones principales. Con el tiempo, ello dio lugar a una burocratización de la actividad científica, hasta entonces desconocida. (...)

(e): Macrociencia militarizada.

Muchos de los macroproyectos científicos tuvieron apoyo y financiación militar, sobre todo en sus primeras fases de desarrollo. Por tanto, fueron secretos, contrariamente a la tradición de la ciencia moderna, basada en la publicación de los resultados de la investigación. Frente a la autonomía tradicional de los científicos a la hora de determinar lo que hay que publicar, las agencias militares de I+D introdujeron nuevos valores en la práctica científica (secreto, disciplina, lealtad, patriotismo, etc.). (...) De esta manera, algunas instituciones militares se convirtieron en agentes estables para la investigación científica y tecnológica ²⁷. La macrociencia no sólo estuvo militarizada en su fase de emergencia, sino también, aunque fuera parcialmente, en las fases ulteriores de consolidación y desarrollo. Los sistemas de ciencia y tecnología de los países desarrollados incluyen siempre Agencias militares de I+D, al servicio de las cuales trabaja una parte significativa de las comunidades científicas ²⁸.

(f): La política científica.

La emergencia de la macrociencia es concomitante con la aparición de las políticas científico-tecnológicas, públicas o privadas. Algunos científicos de prestigio dejaron los laboratorios y pasaron a gabinetes de dirección y asesoramiento, convirtiéndose en expertos en la negociación y diseño de políticas científico-tecnológicas. Surgió así un nuevo tipo de acción científico-tecnológica: el diseño de políticas para la macrociencia. Su principal acción consistió en organizar el Sistema de Ciencia y Tecnología (SCyT) y para ello tuvieron que acceder a las más altas instancias del poder político y militar, manteniendo también vínculos estrechos con grandes corporaciones industriales. (...).

(g): La agencia macrocientífica.

Frente a los grandes "hombres de ciencia" que hicieron la ciencia moderna, la macrociencia la hicieron grandes equipos coordinados que integraban sus respectivos conocimientos y destrezas en un proyecto común que tenía objetivos mixtos. En términos filosóficos cabe decir que el sujeto de la macrociencia devino plural, rompiéndose con el tradicional individualismo metodológico. Encabezando los equipos investigadores siempre había personas de gran prestigio científico, pero su papel fue el de directores de proyectos y agencias macrocientíficas, más que el de investigadores en el sentido clásico de la palabra. La macrociencia la hacen personas jurídicas, no personas físicas. Aquí radica otro de los grandes cambios en la estructura de la actividad científica.

(...)

La caracterización anterior de la macrociencia puede ser criticada desde diversas perspectivas. Por ejemplo, cabe aducir que hay otros rasgos distintivos de la macrociencia, que no han sido

²⁷ En 1955, el 80% de las inversiones del Gobierno Federal en I+D fueron canalizadas a través del Departamento de Defensa.

²⁸ Por ejemplo, más del 50% de los matemáticos norteamericanos eran contratados en los años 80 por la *National Security Agency* o por Agencias militares.

mencionados. Asimismo pueden ser cuestionables algunas de las especificidades propuestas: hay casos en que la financiación privada de la financiación básica fue muy considerable, como veremos en el apartado 2.6. Este primer sistema de rasgos distintivos no supone más que una primera aproximación a nuestro objeto de investigación, que es la tecnociencia. La macrociencia no es más que una de sus modalidades, históricamente la primera.

Cabe también una segunda objeción, consistente en afirmar que todas esas peculiaridades que atribuimos a la macrociencia ya se habían manifestado anteriormente en la historia de la ciencia y la tecnología, aunque fuese a escala menor. También aceptaríamos esta crítica, puesto que, como veremos en el apartado II.3, la atribución de dichos rasgos distintivos será cuestión de grados. Es posible buscar múltiples ejemplos históricos en los que ya se había producido la militarización de la ciencia, su conversión parcial en empresa, la simbiosis entre ciencia y tecnología, la aparición de nuevos modelos de dirección y gestión de la investigación, etc. Lo decisivo es que en la época de la Segunda Guerra Mundial y en los Estados Unidos de América se produjeron todas esas transformaciones a la vez, y a una escala hasta entonces desconocida, por causa del conflicto militar. Por ello hablamos de macrociencia: el alto grado de realización de los seis rasgos distintivos anteriores implica un cambio cuantitativo. Pero, además de todo ello, se produjo un cambio sistémico: surgió un nuevo sistema de ciencia y tecnología en los EEUU. Su progresiva consolidación durante la postguerra produjo un cambio de estructura en la actividad científico-tecnológica. Por tanto, siendo cierto que la emergencia de la tecnociencia dependió de un aumento de escala o grado, no es menos cierto que ese conjunto de transformaciones cuantitativas generó un cambio estructural, que se concretó en la emergencia de un nuevo sistema SCyT. La constitución del nuevo sistema científico-tecnológico fue una condición necesaria para que surgiera la tecnociencia en los años 80. A diferencia de la macrociencia, la distinción entre ciencia y tecnociencia no es una cuestión de tamaño o de escala, como veremos en el capítulo siguiente. La macrociencia surgió a la par que el sistema SCyT. El desarrollo ulterior de dicho sistema SCyT permitió la progresiva aparición de la tecnociencia.

La tercera objeción posible nos parece menos relevante. Cabe afirmar que durante toda esta época hubo grandes cambios en el conocimiento científico, no sólo en la práctica científico-tecnológica. Ello es muy cierto. Pero ya expusimos en el prólogo que nuestro propósito consiste en centrarnos en los cambios de estructura de la actividad científica, no del conocimiento científico. Abundan los filósofos e historiadores de la ciencia y la tecnología que se centran en este segundo aspecto. Por nuestra parte, hemos optado por un tema diferente y mucho menos estudiado. En el apartado siguiente intentaremos aclarar esta nueva perspectiva de análisis filosófico, oponiendo nuestras tesis a las de los defensores de la concepción teleológica de la racionalidad científica.

I.4: Los objetivos de la macrociencia.

Al reflexionar sobre la racionalidad científica, numerosos filósofos han pretendido definirla en función de los objetivos de la ciencia. Tal es el caso de Popper, Hempel, Lakatos, Goldman,

Rescher, Newton-Smith, Levi, Laudan, Giere y otros muchos ²⁹. Para Popper, por ejemplo, el objetivo último de la ciencia es la búsqueda de la verdad. Esta era entendida como un ideal regulativo, que nunca se alcanza, pero al cual es posible aproximarse paulatinamente siempre que se utilice una metodología falsacionista. Si una teoría ha soportado intentos de refutación numerosos y severos y ha sobrevivido a ese criticismo, tenemos razones para pensar que es más verosímil que otra que no ha sido puesta a prueba por el imperativo metodológico falsacionista. Para Lakatos, en cambio, la racionalidad de la ciencia se justifica por los hechos nuevos y sorprendentes que es capaz de explicar, así como por el incremento de su potencialidad heurística. Para Laudan, la clave de la racionalidad estriba en la capacidad para resolver problemas, motivo por el cual el objetivo de la ciencia consiste en proponer y resolver problemas. Otros muchos pensadores han defendido variantes distintas de esta concepción teleológica de la racionalidad, coincidiendo en que los objetivos de la ciencia justifican su racionalidad, aunque luego hayan diferido entre sí a la hora de precisar cuáles son esas metas u objetivos. Por su parte, la mayoría de los científicos han tenido a pensar que el conocimiento es un bien en sí y que la búsqueda de conocimiento (válido, contrastado, etc.) es la meta fundamental de la investigación científica.

Otro tanto cabe decir en el caso de la tecnología. Ha habido pensadores que han cifrado la racionalidad técnica en la búsqueda de la máxima eficiencia. Otros la han hecho depender del objetivo de ayudar a satisfacer necesidades humanas o de incrementar el nivel de bienestar y de adecuación al medio. Tanto en un caso como en otro, los filósofos de la ciencia y de la tecnología fundamentaban ambas modalidades de racionalidad en sus respectivas metas últimas, consideradas éstas como internas a la ciencia y a la tecnología. Fueren cuales fueren, la ciencia y la tecnología tenían sus propios fines, en base a los cuales se justificaba la racionalidad científica y tecnológica.

Con la llegada de la macrociencia, estas teorías de la racionalidad han de ser puestas en cuestión. Por utilizar la distinción weberiana, los fines de la ciencia y la tecnología dejan de ser valores últimos, para convertirse en valores instrumentales. Su consecución es deseable, pero por encima de ellos hay otros objetivos a alcanzar. El informe Bush deja esto muy claro, como veremos en el siguiente capítulo. Los objetivos de la macrociencia no son únicamente científicos, ni tampoco tecnológicos. Algunas de las metas de un macroproyecto científico pueden ser el avance en el conocimiento, o la invención de artefactos más eficientes, pero sobre estos objetivos priman otros, que son los que dan sentido a la financiación y realización del proyecto: puede tratarse de mejorar la capacidad defensiva y ofensiva de un ejército, puede ser ganar una guerra, puede intentarse mejorar la productividad de un sector industrial, o simplemente incrementar el prestigio de un país, su nivel de seguridad o su posición en los mercados internacionales. En el proyecto Manhattan, por ejemplo, a los científicos les interesaba calcular la masa crítica en un proceso de fusión nuclear, cosa que lograron. Pero, por encima de ellos, los diseñadores del proyecto pretendían disponer de un arma de destrucción masiva que pudiera servir para ganar rápidamente la guerra o, ulteriormente, como arma de disuasión ante futuros

²⁹ Sobre la concepción teleológica de la racionalidad científica, ver D. R. Resnik, "Do Scientific Aims Justify Methodological Rules?", *Erkenntnis* 38 (1993), pp. 223-232.

ataques provenientes del exterior. Las industrias que colaboraron en el proyecto, entre tanto, generaron riqueza, beneficios económicos y, en su caso, puestos de trabajo.



Concluiremos que las acciones macrocientíficas tienen objetivos plurales, algunos de los cuales son científicos y tecnológicos, otros militares, empresariales o políticos. Con mucha frecuencia, éstos últimos son los de mayor peso efectivo, pese a ser “externos” a las comunidades científicas e ingenieriles. Ello implica una tensión continua en la actividad macrocientífica, que surge de su propia estructura, es decir, de la diversidad y heterogeneidad de sus objetivos, así como de la frecuente subordinación de los fines epistémicos y técnicos. A veces se logran puntos de equilibrio, de modo que todos salen relativamente satisfechos, a veces no. Lo que pocas veces ocurre es que los objetivos “propios” de la ciencia o de la tecnología sean los prioritarios, por mucho que haya acciones de política científica orientados exclusivamente a satisfacerlos³⁰. La actividad macrocientífica es sistémica y cada una de las acciones relevantes de política científica, incluidos los programas de promoción general del conocimiento, sólo adquieren sentido en función de la existencia de otras muchas acciones de política científico-tecnológica orientadas a satisfacer otros tipos de objetivos, algunas de ellas sin publicidad alguna y con mucha mayor financiación. Hay ocasiones en las que el fomento de la investigación básica es un puro adorno o complemento del sistema de política científico-tecnológica. Tal es el caso, por ejemplo, del fomento de la investigación en el ámbito de las humanidades, salvo algunas excepciones, cuando la investigación adquiere valor estratégico.

La macrociencia no sólo la hacen los científicos y los ingenieros. Dichas comunidades forman parte de un complejo científico-tecnológico (sistema SCyT) previamente diseñado, en el que intervienen otros muchos agentes. Todo ello incide en la elección y provisión de los medios para llevar a cabo la investigación. Un investigador avezado ha de saber argumentar que, además de los logros propiamente científicos, de sus investigaciones podrán derivarse otros beneficios, que son los que de verdad interesan a los demás agentes involucrados en un sistema que promueve la investigación, el desarrollo y la innovación. La macrociencia se asienta en un complejo entramado de relaciones interprofesionales, no en la autonomía de las comunidades científicas ni en el genio individual de algunas personas. Frente al modelo de la racionalidad instrumental, donde los fines de la actividad científica y tecnológica eran claros y distintos, las metas y objetivos de la actividad macrocientífica constituyen una estructura compleja, no exenta de tensiones internas y externas, porque dicha actividad está promovida por una pluralidad de agentes con intereses y objetivos muchas veces encontrados.



³⁰ Esta afirmación vale incluso para el caso del CERN europeo, ejemplo de organización tecnocientífica dedicada en principio exclusivamente al avance del conocimiento y a la invención tecnológica. En el fondo, dicha iniciativa fue conjunta a los primeros proyectos de construir una Unión Europea, en principio comercial (y científica), luego económica y política.

