

TECNOGRAFIA DE LA CIENCIA

Manuel Medina Universidad de Barcelona / Invescit

El término "tecnociencia" para designar el complejo de la ciencia y la tecnología contemporáneas tiene una carga conceptual especial (Riera, 1994). No sólo indica que con el paso de la ciencia académica a la ciencia gubernamental e industrial, sobre todo en el siglo XX, ciencia y tecnología han llegado a ser prácticamente inseparables en la realidad. También señala una *Nueva Imagen* de la ciencia y la tecnología que los actuales Estudios de Ciencia y Tecnología han ido elaborando frente a las concepciones tradicionales (Medina, 1994). Una de las ideas características es que la ciencia no se puede reducir a los científicos ni la tecnología a los tecnólogos, sino que ambas forman parte de un complejo entramado junto con otros dominios sociales, económicos, políticos y culturales. Es lo que se conoce como Ciencia, Tecnología y Sociedad.

Las complejas interacciones conocidas como Ciencia, Tecnología y Sociedad forman una unidad de hecho inseparable y un complejo entramado que sólo pueden abordarse en el marco de estudios interdisciplinarios. Por razón de su misma complejidad, se puede destacar, analíticamente, algún sub-conjunto de dichas interacciones en particular como centro de gravedad para un tipo de estudios determinado. Así la sociología de la ciencia se centra especialmente en el entramado de ciencia y sociedad. De manera análoga, el presente trabajo quiere contribuir a una nueva modalidad dentro de los estudios de ciencia y tecnología centrada especialmente en el entramado de ciencia y tecnología, que podemos llamar tecnografía de la ciencia. Se podría pensar que el actual entramado de ciencia y tecnología, que constituye el núcleo de lo que se llama tecnociencia, es exclusivo de nuestra época, pero lo cierto es que ha existido con diferentes

formas a lo largo de toda la tradición científica. Su configuración actual es el resultado de una evolución que hay que reconstruir históricamente si se quiere comprender y evaluar efectivamente la tecnociencia característica de nuestro tiempo.

CIENCIA Y TÉCNICAS ANTIGUAS

El modo originario del conocimiento es el *saber operativo*, es decir, el *saber cómo* proceder. Entendiendo como procedimientos o esquemas operativos, podemos decir que la forma fundamental del conocimiento es el dominio de técnicas. Ya en el Paleolítico, el hombre inventa y perfecciona una técnica que puede ejercer con sus propios órganos y le permite despegar del ámbito técnico puramente animal: el lenguaje. El lenguaje es decisivo para la transmisión humana de los conocimientos operativos, pues posibilita la *representación simbólica* del saber y la sistematización de operaciones. Pero, quizás, el logro más importante del hombre prehistórico sea la emergencia de la propia técnica. Es decir, una técnica característicamente humana, consistente en el diseño y el uso consciente de técnicas dirigidas a realizar determinadas tareas. La técnica de elaborar técnicas, que constituye la base de la cultura humana.

Una nueva forma de representación simbólica se hace posible con la invención de la escritura en el seno de las grandes culturas orientales antiguas. La escritura encabeza una revolución en el dominio de las técnicas simbólicas, en la que juegan un importante papel las culturas de la antigua Mesopotamia. En la Edad de Bronce las técnicas materiales, es decir, las *técnicas duras* relacionadas con la fabricación y modelación de objetos, el empleo de artefactos materiales y la obtención y transforma--

ción de sustancias experimentan grandes avances, gracias a la especialización artesanal en las grandes concentraciones urbanas. Pero tanto o más remarkable, es el desarrollo de nuevas técnicas organizativas que se ponen de manifiesto en la aparición de populosas ciudades, de los grandes ejércitos de trabajadores y guerreros y de los vastos imperios, gobernados por un monarca de forma autoritaria y centralizada.

Con las nuevas formas de organización social, política y económica surge un nuevo tipo de especialista, los funcionarios o sacerdotes al servicio real, encargados de dominar la creciente complejidad de la producción, la administración y el gobierno. Para este fin, los nuevos funcionarios revolucionan las *técnicas blandas* o procedimientos predominantemente operativos, que pueden ejercerse con los solos órganos y facultades propios y en los que se opera fundamentalmente con artefactos simbólicos. Las nuevas técnicas simbólicas están destinadas al registro y control de datos, a la medición y cálculo, y, en general, al procesamiento y anticipación de la información.

En este nuevo dominio de saber operativo alcanzan un sorprendente desarrollo las técnicas metrológicas básicas. En el cómputo de objetos, que se remonta al Paleolítico, se introduce la numeración convencional y la notación posicional, así como tablas y algoritmos de cálculo. Se desarrollan la geometría o medida de longitud, área y volumen, la hilometría o medida de masa, tanto geométrica (por volumen), como mecánica (con la ayuda de balanzas) y la cronometría astronómica (mediante calendarios y relojes de sol) y mecánica (con el empleo de relojes de agua).

En el dominio de las técnicas duras, ejercidas por la clases dominadas de los artesanos, no se dan representaciones ni sistematizaciones simbólicas de las mismas, debido al monopolio funcional de las técnicas blandas. El aprendizaje y la transmisión son directos e intuitivos, y se realizan a través de la participación operativa y de la comunicación personal. En el marco de las técnicas blandas, en cambio, surge una nueva forma de representar sistemáticamente y de transmitir el saber operativo. Su formulación simbólica consiste en enunciados operativos, instrucciones y algoritmos dirigidos a realizar una determinada tarea.

El saber geométrico, p. ej., se fija y transmite mediante tratados consistentes en el

planteamiento y la resolución operativa de problemas que se formulan en términos concretos de situaciones y objetos de la práctica corriente. No aparecen enunciados asertorios ni principios generales, como tampoco se plantea la necesidad de probar los sistemas de reglas y procedimientos. Más bien, se da por supuesto que funcionan y su comprobación consistiría, en todo caso, en la aplicación de los mismos.

Con los primeros filósofos aparece una nueva forma de representar lingüísticamente el saber operativo: la *presentación teórica*. En la filosofía jonia se pueden detectar claramente prototeorizaciones de técnicas de transformación, ópticas, mecánicas y neumáticas, así como de organización social. Estos primeros pasos de la *techne* a la *theoria* son, sin duda, más importantes que el tan mistificado paso "del mito al logos".

Donde no cabe duda que nos encontramos ante una nueva formulación del saber, es ante los primeros enunciados teóricos de la geometría griega, atribuidos a Tales de Mileto:

—*El círculo queda dividido en dos partes iguales por cada uno de sus diámetros.*

—*Ángulos opuestos por el vértice son iguales.*

—*Los ángulos de la base de un triángulo isóceles son iguales.*

—*Las diagonales de un rectángulo son iguales y se cortan mutuamente por la mitad.*

—*Los ángulos periféricos inscritos en un semicírculo son rectos.*

Las reglas y procedimientos de configuración, medida y cálculo de la geometría operativa se han transformado en *enunciados asertorios generales*, independientes de situaciones determinadas y aparentemente desprovistos de toda finalidad, que describen propiedades y relaciones de *objetos abstractos* ajenos a la práctica.

Esta nueva forma de presentar la geometría tiene, desde sus mismos orígenes, otra característica: la idea de *probar los* enunciados. Según la tradición, Tales se planteó ya la prueba de los enunciados geométricos. En estos primeros estadios de la geometría teórica, los procedimientos de prueba tienen un claro carácter operativo, emparentado con las técnicas de configuración geométrica. Así, p. ej., mediante la superposición de dos figuras que coinciden se prueba que éstas son iguales.

El modo de prueba característicamente teórico, la prueba de enunciados a partir de otros enunciados aparece ya en Hipócrates de Quíos, autor de un tratado de geometría teórica con el título de Elementos. A la idea y la forma de probar enunciados a partir de otros enunciados contribuyen, de forma muy importante, los propulsores de otra modalidad de la incipiente tradición teórica, la teorización filosófica. Los filósofos eleáticos dan un giro monológico a las técnicas dialógicas de discusión con las que se resolvían los conflictos en las asambleas y los juicios públicos de la democracia griega. El discurso se presenta como una sucesión de enunciados teóricos o argumentación, que demuestra la verdad de la proposición sostenida. En consecuencia, ésta ha de ser aceptada por cualquier oponente. En las argumentaciones eleáticas cristalizan ya las reglas y los principios de la lógica clásica (como el tercio excluso), así como una forma de probar enunciados eminentemente teórica: la prueba indirecta o por reducción al absurdo, que jugará un importante papel en la geometría teórica.

La geometría griega se perfila cada vez más como una teoría, es decir, como un sistema de enunciados estructurados según determinadas relaciones lógicas y (con excepción de ciertos enunciados primeros o postulados) susceptibles de ser probados mediante inferencias a partir de los postulados o de los enunciados que, a su vez, han sido probados anteriormente. Las teorizaciones de la geometría servirán de modelo a Platón y Aristóteles para elaborar su concepción y filosofía de la ciencia como conocimiento teórico.

La teorización científica alcanza su primera cumbre y paradigma general con los Elementos de Euclides. Este sistematiza en su obra los conocimientos teóricos de la geometría antigua, presentándolos en forma de una rigurosa teoría axiomática. La presentación teórica de la geometría, sin embargo, tiende a encubrir el contenido operativo que los términos y enunciados teóricos, aparentemente ajenos a la acción, conceptualizan y sistematizan.

La antigua geometría operativa de las culturas orientales desarrolló sofisticados procedimientos de configuración medición y cálculo para la determinación de distancias, superficies y volúmenes. Su dominio está constituido por realizaciones técnicas modeladas o configuradas homogéneamente, tales como objetos, construcciones y delimitaciones espaciales. Las formas homogéneas son técnicamente reproducibles en objetos al disponer de técnicas de configuración que conducen siempre a los mismos resultados. El procedimiento en cuestión realiza en los objetos configurados determinadas especificaciones

de homogeneidad.

Las realizaciones técnicas satisfacen, según su finalidad, las especificaciones o exigencias de homogeneidad de un modo más o menos aproximado. En la geometría teórica, las técnicas de configuración homogénea, medida y cálculo se transforman en enunciados asertorios generales acerca de relaciones y propiedades de figuras geométricas. Estas representan conceptualmente una realización, técnicamente inalcanzable, que satisface las exigencias de homogeneidad de un modo absoluto e inmejorable.

La conceptualización teórica es la base de un discurso en el que se supone la existencia de objetos que poseen idealmente las propiedades objeto de realización técnica. El saber geométrico se presenta como teoría de las formas homogéneas fundamentales, conceptualizadas teóricamente en las definiciones y en los axiomas. La deducción de teoremas equivale a sacar las consecuencias de la realización ideal de los principios de homogeneidad, en forma de propiedades y relaciones de objetos teóricos. Tales teoremas constituyen la versión teórica de los algoritmos de la geometría operativa, como puede mostrarse, p. ej. en el caso del teorema 47 del libro I de los Elementos, el llamado "teorema de Pitágoras" (Medina, 1985). En su versión teórica, los procedimientos de medición y cálculo se derivan lógicamente de las técnicas de configuración.

La teorización de la geometría fue fundamental para la teorización de las demás ciencias clásicas. A partir de ella se extiende la teorización científica a otros dominios técnicos, como la óptica y la mecánica. Las ciencias clásicas son el resultado de una teorización derivada, en cuanto que su conceptualización se realiza en términos teóricos geométricos. Así se establece en la ciencia el primado de la metodología geométrica, de la que se derivan los conceptos científicos basados en la medida del espacio.

La óptica y la mecánica estática clásicas proceden de la teorización de las correspondientes técnicas duras, dedicadas a la construcción y uso de artefactos, tales como espejos, balanzas, palancas etc. Para el funcionamiento de tales artefactos no sólo son relevantes las propiedades formales, sino también las propiedades materiales de los mismos. La capacidad de realizar formas homogéneas fue básica tanto para la antigua técnica óptica, como para la mecánica. En la fabricación de espejos, la realización de superficies planas fue de terminante

de la fidelidad de la imagen y para la precisión de las antiguas balanzas lo fue la construcción de brazos rectos exactamente simétricos.

Las propiedades materiales representan la realización de exigencias adicionales de homogeneidad, dadas determinadas propiedades inherentes al material. Las realizaciones técnicas satisfacen, en mayor o menor grado, las exigencias de homogeneidad formal y material características de un determinado artefacto. Sin embargo, la imperfección de las realizaciones técnicas antiguas no impidió que tanto la óptica como la mecánica clásica alcanzaran resultados precisos. Pues éstas, en último término, tratan de realizaciones ideales.

A partir del supuesto teórico de la satisfacción ideal de las propiedades formales y materiales, se derivan en la sistematización teórica teoremas que enuncian la realización óptima de la función correspondiente. En la teoría, las propiedades operativas de los instrumentos se derivan de sus propiedades formales y materiales, o sea, la función óptima de la construcción ideal (Medina, 1985.).

La fecundidad tecnológica de la ciencia antigua radica, precisamente, en la sistematización teórica de la relación entre las dos vertientes técnicas de la construcción y del uso. El tratamiento teórico permite derivar, asimismo, del supuesto de una función óptima para determinadas especificaciones, exigencias relativas a la realización ideal. Éstas pueden traducirse, vía diseño, en normas para el proceso técnico de la construcción. Los ingenieros alejandrinos, a caballo de la técnica y de la teoría, deben sus mejores logros a la capacidad de reoperativizar los desarrollos teóricos, con la que nace la *tecnología* (Medina, 1985.).

El alcance de la teorización científica clásica es, sin embargo, limitado. En el ámbito de la técnica mecánica, se reduce a la mecánica estática de sólidos y líquidos. Técnicas como la balística, la neumática o la automática —integrantes de una mecánica dinámica— permanecen sin conceptualización científica. No obstante, en el caso de la balística o técnica de las máquinas de tiro, los ingenieros alejandrinos dan el paso que conduce de la mecánica artesanal a los procedimientos operativos metódicos, numéricos y parateóricos propios de la técnica ingenieril.

El ensayo mecánico dirigido al perfeccionamiento de un artefacto concreto se transforma en un método experimental con variaciones y pruebas sistemáticas cuantitativamente controladas. Los re-

sultados son analizados numéricamente con vistas a procedimientos operativos, que se plasman en forma de tablas o reglas de proporcionalidad. Tales procedimientos operativos mecánicos son el resultado de hacer extensivos los antiguos métodos babilónicos del ámbito de los cuerpos celestes incontrolables, al de los artefactos construibles.

CIENCIA MODERNA Y TECNOLOGÍA

El proceso de teorización de la mecánica dinámica, en especial de la balística ingenieril del Renacimiento, será uno de los desencadenantes de la ciencia moderna. Con los artistas-ingenieros renacentistas, que se han ido, poco a poco, segregando socialmente de la clase artesanal y han asimilado la ciencia y la técnica antiguas, la tradición técnica ingenieril vuelve a alcanzar un alto grado de desarrollo.

La mecánica de las máquinas de tiro había experimentado en la Edad Media importantes avances con la introducción del trabuco o catapulta de contrapeso y del cañón. Dada la importancia política de este dominio técnico, la artillería artesanal da paso a la ingeniería militar. A diferencia de la ingeniería clásica, centrada en la *construcción* de potentes artefactos, la balística ingenieril renacentista se interesa especialmente por cuestiones relativas al *uso*, o sea, problemas de tiro.

Aunque se logra una sistematización operativa, mediante correlaciones entre ángulos de tiro y alcance de los disparos, los resultados de los diversos intentos de conceptualización teórica, en términos de dinámica aristotélica, conducen a resultados poco satisfactorios.

Los problemas de balística movieron a Galileo a ocuparse de la caída de los graves. El problema teórico de la trayectoria de los proyectiles de artillería que daría resuelto en su tratado *Sobre dos nuevas ciencias*, de las que la primera representa una teorización, al modo arquimédico, de la mecánica estática relativa a la resistencia de sólidos. La segunda culmina con la teorización de la técnica balística, al demostrar como teoremas las reglas de tiro de los artilleros.

La ciencia moderna es, pues, el resultado del reencuentro renacentista entre la antigua tradición teórica científica y la tradición operativa inmanente en la mecánica ingenieril. Ambas tradiciones confluyen en los ingenieros-académicos como Galileo, conocedores entusiastas, por un lado, de la ciencia antigua y de los tratamientos teóricos medievales de cuestiones mecánicas, y po-

seedores, por otro, de amplios conocimientos e intereses técnicos.

El método experimental, latente en los procedimientos operativos artesanales y aplicado sistemáticamente por los ingenieros ya en la época antigua, es objeto de reflexión y sistematización explícita. El diseño y la construcción de dispositivos experimentales, las modificaciones y pruebas sistemáticas bajo control métrico y la representación matemática se constituyen, junto con la teorización científica, en el procedimiento fundamental de la investigación.

En contraposición a la ciencia clásica, no son técnicas *blandas*, como la geometría, sino técnicas mecánicas las desencadenantes del proceso de teorización que dará lugar a la "nueva ciencia". El carácter y desarrollo de la misma estarán marcados por el modelo de la mecánica, al igual que las ciencias antiguas fueron configuradas por la teorización paradigmática de la geometría.

La importancia de Galileo para el desarrollo de la ciencia moderna no reside sólo en haber llevado a cabo el proceso de teorización de la mecánica balística, sino también en sus planteamientos programáticos. Galileo combate decididamente la separación teórica entre el dominio de la técnica mecánica y el de la naturaleza, y aboga por la equiparación de mecánica teórica y la física o teoría de la naturaleza. Con ello quiere legitimar la transferencia de los procedimientos de la producción mecánica, o sea, del método experimental a todos los ámbitos de la ciencia.

Contrariamente a la doctrina aristotélica, la ciencia de la naturaleza deviene definitivamente una ciencia que teoriza los resultados de la experimentación mecánica. Los artefactos mecánicos no serán ya *contra natura* ni constituirán un engaño de la naturaleza con astucia (maquinación) en provecho propio, como quería Aristóteles, sino que, por el contrario, los dispositivos mecánicos pondrán de manifiesto los principios naturales.

Los alegatos teóricos de Galileo en favor de una transferencia generalizada de los procedimientos experimentales mecánicos, preparan el camino para la *extrapolación* —iniciada ya en su obra— de la teoría de la mecánica a los demás dominios. La nueva mecánica teórica se extrapola en la teorización de técnicas dirigidas a la anticipación de procesos naturales, como la astronomía, para culminar en la síntesis newtoniana de la mecánica terrestre y la astronómica. El éxito convierte a la teoría de

Newton en un programa de expansión teórica, de cuya realización en los diversos dominios se encargan filósofos y científicos. La interpretación naturalista de la mecánica desemboca, en último término, en la visión tecnomecánica de la naturaleza, del cosmos, del hombre y de la sociedad. La cosmovisión moderna no sólo consolida la posición de las técnicas ingenieriles y hace justicia a su relevancia política, sino que además promueve y legitima la transferencia de los procedimientos experimentales de la invención y el control mecánico a todos los ámbitos de la investigación y de la vida ordinaria.

Asimismo se propaga el programa baconiano dirigido a modelar uniformemente la práctica científica conforme al modo de intervención experimental. La investigación debe dar lugar sólo a teorías que reporten capacidades de controlar procesos al modo mecánico. A diferencia de la ciencia predominantemente teorizante en la antigüedad, cuyo objeto de teorización son resultados de técnicas precientíficas (la de la ciencia antigua), la ciencia moderna se apropia el procedimiento experimental de la construcción mecánica. De esta forma, la investigación científica se hace con un campo de producción tecnológica propia, que cultiva con relativa autonomía. Ello no impide que continúen siendo objeto de teorización científica y desarrollo tecnológico resultados técnicos ingenieriles, como se pone de manifiesto en el caso de la máquina de vapor, las técnicas energéticas y las teorías termodinámicas. En química, la práctica científica transforma, mediante el tratamiento experimental sistemático, procedimientos tradicionales, para luego sistematizar los resultados en el marco de teorías científicas.

TECNOCIENCIA

Con la ciencia moderna la experimentación sistemática unida a la conceptualización y sistematización teóricas y al tratamiento metrológico y matemático revolucionan progresivamente los demás dominios técnicos. Con Boyle y su bomba de vacío los laboratorios científicos se establecen como instancia suprema para decidir disputas sobre cuestiones de hechos. Los fenómenos producidos y controlados mediante instrumentos de construcción mecánica en el curso de experimentos reproducibles y accesibles a todo el mundo, constituyen los *hechos científicos*. Los hechos contruidos por la práctica técnica científica representan los fenómenos genuinos de la naturaleza moderna, claramente contrapuesta y separada de la sociedad, al igual que el conocimiento científico lo está de la política (Shapin/Schaffer, 1985; Latour, 1990). La ciencia moderna se configura como la conjunción de la produc-

ción tecnológica de laboratorio y el tratamiento teórico de sus sistemas tecnológicos.

El desarrollo de su propio campo de producción tecnológica por parte de la ciencia moderna (Bohme/Daele /Krohn, 1978) y la interacción entre dicha producción y su tratamiento teórico en el seno de la investigación científica dará lugar en el siglo XIX a una revolución *tecnocientífica*. Una nueva física surge a partir de las innovaciones tecnológicas científicas en el dominio de la transformación y síntesis de sustancias y en el de la producción de efectos y procesos energéticos. Con la tecnocientificación de dichos dominios se institucionalizan como disciplinas científicas la química sintética y la nueva física centrada en la termodinámica, la electricidad, el magnetismo y, posteriormente, en los efectos radiactivos. Ambas constituyen originariamente la tecnociencia. Con ella se instaura una nueva *ciencia de la naturaleza* en la que las interacciones físico-químicas desplazan a las mecánicas de su posición de preeminencia y las elaboraciones teóricas están al servicio de los resultados tecnológicos.

A partir de la revolución tecnocientífica, las nuevas tecnologías de transformación y síntesis química, nuclear y genética desplazan el predominio mecánico. Al igual que en el caso originario de la mecánica, a medida de que los distintos dominios de la acción humana y sus entornos van siendo conformados por las nuevas tecnologías, éstas pasan a ocupar el puesto de "técnicas de control de la naturaleza" dominantes. La cosmovisión científica se modifica correspondientemente y se pasa de la concepción mecánica de la naturaleza a su interpretación en términos de la química, la termodinámica y la nueva física.

La investigación tecnocientífica se ocupa, cada vez más, de procesos provocados y controlados en los laboratorios por el mismo investigador como efectos reproducibles de construcciones que, a su vez, son resultados tecnológicos de producción científica, tales como generadores eléctricos y radioactivos, aceleradores de partículas, láseres o recombinados de ADN. Procedimientos tecnológicos y tratamiento teórico están estrechamente entrelazados en la investigación y el desarrollo tecnocientíficos de laboratorio, que se basan, característicamente, en la construcción experimental, en la descomposición y aislamiento de elementos y en la manipulación, reemplazo y recombinación, con el fin de reproducir a voluntad y controlar completamente los procesos deseados mediante la eliminación de perturbadores en las disposiciones experimentales (Gleich, 1991).

Así, el análisis y sistematización teórica de las propiedades físicas de los materiales en términos de átomos, partículas elementales y estructuras atómicas se entrelaza con la física atómica experimental en lo que son las tecnologías nucleares, de la misma forma que, en química, la teorización de las propiedades químicas en términos de estructuras moleculares es inseparable y está al servicio de tecnologías de síntesis química. Las disciplinas de la física y de la química contemporánea no son fundamentalmente otra cosa que nuevas tecnologías, es decir, tecnociencias (Gleich, 1991.). Desde principios de siglo la metodología y las teorías físico-químicas se van transfiriendo al campo de la investigación biológica, donde se quiere encontrar, detrás de la diversidad de los logros y capacidades operativas de la nueva biología tecnocientífica, los últimos componentes que -al igual que los átomos en la física- puedan presentarse teóricamente como los responsables de las propiedades orgánicas (Brush, 1988). De esta forma se llegan a "descubrir" los genes y las estructuras genéticas y se desarrolla la biología molecular, con la consiguiente avalancha de las nuevas biotecnologías y la ingeniería genética.

Como dice el famoso físico von Weizsacker, una ley natural "es, cada vez más, una descripción de la posibilidad y del resultado de experimentos —una... ley de nuestra habilidad para producir fenómenos"(von Weizsacker, 1971). Las regularidades investigadas de forma experimental y controladas cuantitativamente, se provocan, mantienen y reproducen: tecnológicamente y cada procedimiento e instrucción de medida es, en definitiva, un producto: tecnológico.

Sin embargo, en la presentación teórica, el contenido operativo de la investigación y de los resultados científicos acostumbra a quedar camuflado como "observación" y "aplicaciones" de la ciencia. El *know hmu* se presenta teóricamente como "saber que". Por otra parte, las elaboraciones teóricas más abstractas de los diversos resultados de la investigación se extrapolan para interpretar procesos naturales, cósmicos o sociales al margen de cualquier control experimental del investigador. La capacidad de dominio tecnológico se sublima, en último extremo, como explicación teórica de la naturaleza y del cosmos.

Las extrapolaciones teóricas recurren, como justificación, a las *leyes científicas*, que el investigador, presuntamente, descubre en su búsqueda de la verdad. Estas, constatadas en las disposiciones experimentales, rigen para cualquier otro dominio sin

limitaciones temporales. El discurso legalista en la ciencia es el resultado y, a su vez, el origen de trascendentales mistificaciones, a las que han sucumbido grandes científicos, como el propio Einstein:

"Pero ¿cuál puede ser el interés de llegar a conocer una porción de la naturaleza tan pequeña en forma exhaustiva, mientras se deja de lado, con cautela y timidez, todo lo que implique mayor sutileza y complejidad? ¿El producto de tales esfuerzos modestos puede recibir la orgullosa denominación de teoría del universo? Creo que esta denominación está justificada, porque las leyes generales sobre las que se basa la estructura de la física teórica se definen como válidas para toda clase de fenómenos naturales. Mediante esas leyes sería posible llegar a la descripción -o sea, la teoría- de todo proceso natural incluyendo la vida a través de la pura deducción, si ese proceso de deducción no estuviera más allá de la capacidad del intelecto humano. [...] La tarea fundamental del físico consiste en llegar hasta esas leyes elementales y universales que permiten construir el cosmos mediante pura deducción." (Einstein, A., 1977).

A la mistificación legalista de la tecnociencia subyace, entre otras cosas, la concepción estándar tradicional, que la concibe fundamentalmente como *teorías*. En los actuales Estudios de Ciencia y Tecnología la ciencia se muestra, por el contrario, como una *práctica*, la práctica del entramado de la producción tecnológica y teórica. Pues, mientras que la ciencia antigua es predominantemente teórica y se centra en la teorización de desarrollos técnicos precientíficos de tipo artesanal, la ciencia moderna desarrolla una producción propia de tecnologías, que, junto con los resultados de la técnica paracientífica de los ingenieros, será el objeto de la teorización científica. La ciencia se constituye, así pues, en el modo teórico del desarrollo del saber tecnológico.

La interacción entre teorización y producción tecnológica en el seno de la investigación tecnocientífica, da lugar a las *nuevas tecnologías*, es decir, tecnologías desarrolladas o perfeccionadas con la ayuda de procedimientos teóricos. La relevancia operativa de la ciencia no reside en sus productos teóricos, sino en su producción tecnológica. De la ciencia no se aplican sus teorías, como quieren hacer creer algunos filósofos de la ciencia, sino direc-

tamente sus tecnologías o sea, el saber operativo, las capacidades y los artefactos tecnológicos desarrollados y teorizados en la investigación científica. La clave del éxito tecnológico de la ciencia reside en que las teorías científicas teorizan, precisamente, técnicas exitosas. La verdad de la representación teórica corresponde a la efectividad operativa.

El desarrollo tecnocientífico de la investigación tiende a expandirse a todos los ámbitos de producción de saber. La producción tecnológica resultante lleva el sello de la asimilación tecnocientífica, pues en el proceso de *tecnocientificación* no sólo se transfieren los modos de producción tecnológica sino que el dominio asimilado es, a su vez, objeto de teorización en el marco tecnocientífico. Es decir, junto con la *transferencia tecnológica* de los procedimientos e instrumentos de producción tecnocientífica se da una *extrapolación teórica* o teorización del dominio asimilado en el marco teórico de la tecnociencia dominante. Los nuevos procedimientos tecnológicos llevan consigo nuevos tratamientos teóricos y juntos dan lugar a nuevas tecnologías, como es el caso de la biología molecular y la ingeniería genética (ver apartado siguiente).

Extrapolaciones teóricas ocurren asimismo entre campos diversos dentro de un mismo dominio, dando origen a *superteorías* científicas que integran y articulan teorizaciones de nivel inferior. Una determinada *superteoría* puede llegar a ser prepotente y constituir un proceso de expansión teórica, como en el caso de la mecánica newtoniana. Dicha expansión teórica escolta, de forma más o menos manifiesta, procesos de transferencias metodológicas y tecnológicas.

En este contexto juegan un papel determinadas superteorías que sirven para justificar la asimilación en cuestión y lograr una aceptación social de la nueva producción tecnológica frente a posibles resistencias. Dichas teorías extrapolan, por lo general, superteorías científicas de dominios controlables en los laboratorios a ámbitos fuera de cualquier control experimental, tales como los procesos cósmicos o el desarrollo y la organización social. Aparentemente se intenta transmitir una cosmovisión del origen y desarrollo del mundo, la naturaleza, la sociedad humana y la cultura en la que la aplicación de las nuevas tecnologías encaja como el auténtico progreso¹. Este tipo de construcciones teóricas, más que un carácter propiamente científico, constituyen

1. Este es el caso de la sociobiología con relación a la biotecnología o de la llamada cosmología científica con relación, entre otras, a las tecnologías desarrolladas por la física de partículas.

extrapolaciones y superteorías filosóficas, dado que no representan ni articulan contenidos tecnológicos, ni tampoco se derivan de ellas tecnologías específicas, a no ser técnicas retóricas destinadas a cambiar la conciencia social²,

Sin embargo, al basarse en la supuesta validez universal de determinadas teorías científicas, que presuntamente autorizaría cualquier extrapolación teórica o transferencia tecnológica, las legitimaciones superteóricas del desarrollo y de la aplicación de nuevas tecnologías están invirtiendo exactamente los términos. El desarrollo teórico va, básicamente, al remolque de la producción tecnológica científica y paracientífica. La innovación tecnológica es el contexto del cambio científico teórico. Ahora bien, si las teorías científicas resultan de la teorización de realizaciones tecnológicas entonces difícilmente pueden constituirse en la legitimación de estas últimas. Por el contrario, la justificación de la actividad teórica dependerá, en todo caso, de las tecnologías a cuya producción contribuye en el marco de la investigación científica³.

TECNOCIENTIFICACION: EL DOMINIO TECNOCIENTIFICO DE LA BIOLOGÍA

Como ya se ha indicado, en el siglo XX, las innovaciones tecnocientíficas dan paso a las que se han venido en llamar nuevas tecnologías. Su relación con el desencadenamiento de los riesgos característicos de nuestra época es, hoy en día, bastante obvia en la mayoría de los casos. De una forma bastante inmediata se puede constatar que los riesgos más extremos y las consecuencias más irreversibles se derivan de tecnologías tales como la química sintética, la tecnología nuclear, las tecnologías genéticas o las informáticas. Sin embargo, el proceso global de la génesis de dichos problemas y riesgos no es perceptible de una manera tan inmediata, sino que requiere un análisis y una reconstrucción histórica amplios que van más allá de las simples micro-explicaciones y evaluaciones técnicas estándar.

El proceso en cuestión radica en la difusión generalizada de los sistemas tecnológicos producidos en los laboratorios de investigación tecnocientífica. Dicha transferencia tecnológica está operando la progresiva tecnocientificación de

la cultura de origen europeo y, a través de su exportación transcultural, la homogeneización de las diversidades culturales a escala planetaria. La configuración tecnocientífica de los más diversos ámbitos de la práctica ordinaria da paso a entornos asimismo cada vez más tecnocientificados, es decir, configurados como entramados cada vez más predecibles y controlables. Pues las innovaciones tecnocientíficas sólo pueden implementarse, es decir, los procedimientos de intervención tecnocientífica sólo pueden ser efectivos, si se transfieren a los distintos entornos particulares las condiciones de laboratorio originarias que forman parte de y garantizan su funcionamiento (Latour, 1983). De esta forma, se eliminan perturbaciones potencialmente incontrolables y se pueden reproducir y controlar al modo tecnocientífico los procesos en cuestión. La tecnocientificación global de la cultura es precisamente el origen de nuestra cultura del riesgo (Beck, 1986).

La producción tecnocientífica junto con las extrapolaciones teóricas han ido trastocando las concepciones y formas originarias del saber operativo. Estas correspondían a distintos dominios técnicos, delimitados por sus respectivas características. Así, p. ej., el ámbito de las técnicas materiales se caracterizaba por el control determinante de efectos y procesos, cuya producción y reproducibilidad se lograba mediante la fabricación de dispositivos y artefactos. Las biotécnicas, en cambio, se caracterizaban desde su origen por ser, más bien, técnicas anticipativas que tendían a respetar la autonomía de los procesos en cuestión, pero en las que se daba una cierta intervención o ayuda, dirigida a acondicionar adecuadamente y encaminar hacia resultados óptimos. En el extremo opuesto al dominio de la mecánica, se encontraban las técnicas puramente anticipativas como astronomía y meteorología, que se ocupan dominios no controlables operativamente y en los que el saber consiste en adaptar convenientemente la propia acción.

Sin duda, uno de los casos de tecnocientificación más representativos se encuentra en el dominio biotécnico de la agricultura, la ganadería y la medicina tradicionales. Desde su origen prehistórico, estas se han caracterizado por ser técnicas de

2. De una forma muy esquemática y resumida se podría decir que las tecnologías dominantes dan lugar a las teorías y superteorías dominantes, y de todas ellas se derivan las cosmologías dominantes que, a su vez, sirven para legitimar el desarrollo y la aplicación de las nuevas tecnologías en cuestión.

3. Toda práctica técnica tiene determinadas consecuencias y condicionamientos, y su aplicación afecta necesidades, formas de vida y propósitos. Qué tecnologías, en particular, resultan de la producción científica o paracientífica y qué saber operativo es objeto de tratamiento científico, tiene que ver con los propósitos y decisiones de determinados colectivos sociales, así como con el grado de poder de que disponen para orientar la Investigación.

intervención *blanda*, es decir, basadas en procedimientos predominantemente anticipativos que respetaban, en buena medida, la espontaneidad y la autonomía originarias de los procesos en cuestión, pero en los que se daba una cierta intervención o ayuda, dirigida a acondicionarlos adecuadamente. El desarrollo actual, por el contrario, se basa preferentemente en tecnologías *duras*, es decir, de intervención y control tecnocientífico, en las que priman procedimientos y productos desarrollados en los laboratorios de química sintética y de ingeniería genética y que tienden a anular la autonomía y espontaneidad originarias de los procesos intervenidos. Así, la tecnocientificación de la agricultura, la ganadería y la producción alimentaria en general ha seguido un proceso acelerado que va desde la primera utilización de abonos químicos y pesticidas hasta el empleo de hormonas sintéticas y sustancias químicas de todo tipo, y los más recientes procedimientos biotecnológicos y genéticos para la producción, selección y creación de especies. Al mismo ritmo se han seguido también sus efectos para el deterioro ambiental y los graves riesgos para la salud humana y la supervivencia de determinadas especies.

La tecnocientificación rigurosa del dominio biotécnico es un proceso relativamente reciente que aún está en marcha y que constituye el último capítulo de la historia de la biología científica. El primer tratamiento científico de las biotécnicas originarias fue de carácter teórico, consistiendo fundamentalmente en su conceptualización y sistematización taxonómica y teórica, que se inician ya en la época de la ciencia antigua con obras como el *Corpus Hippocraticum* o los tratados aristotélicos sobre los animales. A partir del siglo XVII, la biología teórica se fue constituyendo como un sofisticado sistema conceptual y clasificatorio, que dió paso a las grandes teorías de la evolución del siglo XIX. En la segunda mitad de este mismo siglo aparece de forma clara el tratamiento científico moderno de las biotécnicas en el campo de los procedimientos de transformación mediante microorganismos, con el desarrollo de la microbiología, cuyas tecnologías iban dirigidas al control de procesos de fermentación o de carácter infeccioso (Latour, 1988). Asimismo es esta época surge la química orgánica y, posteriormente, la bioquímica en relación con el control tecno-

lógico de los procedimientos de transformación y síntesis de biosustancias y de los procesos agrícolas.

Ya en el siglo XX, se desencadena el tratamiento tecnocientífico con la transferencia masiva de prácticas e instrumental de laboratorio del campo de la física y química al de la investigación biológica. Dicha transferencia está promovida por notables físicos y químicos, como Erwin Schrödinger y Linus Pauling, que se pasan a la biología con armas y bagajes para defender la teorización y tratamiento de los procesos biológicos en términos moleculares. La articulación y sistematización físico-química (es decir, tecnocientífica) de la investigación biológica desembocan en los desarrollos teóricos de la biología molecular y en la ingeniería genética. Esta representa la culminación del proceso de biotecnocientificación con el desarrollo de las tecnologías del ADN recombinante, destinadas a provocar y controlar procesos biológicos y a generar nuevos organismos mediante el reemplazo y recombinación de elementos genéticos. Dichas tecnologías nada tienen que ver con la mejora de especies vegetales y animales por los métodos de selección tradicionales, sino que se trata claramente de innovaciones tecnocientíficas⁴.

Las nuevas tecnologías no han dejado prácticamente ningún ámbito del bioentorno tradicional, es decir, de lo que convencionalmente se considera la *naturaleza*, fuera del alcance de la intervención tecnocientífica. No sólo se compite en los invisibles juegos olímpicos de los premios Nobel investigando y desarrollando nuevas tecnologías para la manipulación, producción y reproducción de especies animales y vegetales, sino que las prácticas tradicionales más comunes de la agricultura, la cría y el cuidado de animales están desapareciendo para dar paso a un entorno de laboratorio industrial. Incluso el paisaje, arruinado como consecuencia directa e indirecta de la producción tecnocientífica, se quiere *renaturalizar* sometiéndolo a una ecogestión que haga uso de las formas más avanzadas de intervención tecnocientífica (Böhme, 1990). La misma naturaleza humana, es decir, el cuerpo humano y sus procesos de reproducción, es un objetivo prioritario para la expansión tecnocientífica que va desde el trasplante de órganos, el control y la realización tecnológica de procesos orgánicos (marcapasos, diálisis, corazones mecánicos...) hasta la manipula-

4. La innovación tecnocientífica no es exclusiva de las tecnologías genéticas, sino que ha marcado el conjunto de las nuevas biotecnologías, como en el caso de las tecnologías microbiológicas o las tecnologías germinales. Las tecnologías microbiológicas operan mediante el aislamiento y selección de microorganismos para manipular determinados procesos y para la producción industrial de determinadas sustancias. Las tecnologías de tratamiento germinal tienen que ver con procesos de fecundación extracorporal, fusión celular o clonación (Sanmartín, 1987).

ción operativa y hormonal del sexo y las intervenciones genéticas. Pero, sobre todo, es en la procreación humana donde la intervención tecnocientífica es más significativa. En la actualidad los investigadores, los profesionales y la industria médica la están encauzando hacia un proceso tecnocientífico con objetivos funcionales (supuestamente eugenésicos), provocado, guiado y controlado mediante tecnologías de diagnóstico, fecundación, intervención genética etc (Sanmartín, 1987).

En general, la tendencia apunta claramente hacia la tecnocientificación total que parece guiada por el imperativo tecnocientífico de que *hay que extender las formas de intervención tecnocientífica a todos los dominios que puedan ser objeto de ella*. La clave y el desencadenante de la tecnocientificación global de la cultura ha sido la tecnocientificación originaria de la cultura científica, que, como matriz de la tecnociencia, ha impulsado el imperativo tecnológico y ha hecho posible su implementación operativa y su legitimación teórica. La historia de la tecnocientificación progresiva de la cultura científica es la historia de las nuevas tecnologías que se han constituido en el paradigma actual del conocimiento, la investigación y la intervención científicas. Propiamente habría que hablar, más bien, de historia de las tecnociencias, pues tecnologías tales como la nuclear, la de síntesis química o la genética forman un entramado inseparable con disciplinas como la física nuclear, la física atómica o la biología molecular.

LA CONSTRUCCIÓN DE RIESGOS

El primado del modelo de investigación e intervención tecnocientífica conduce a la transformación generalizada de los sistemas técnicos en sistemas tecnocientíficos. Pues, siguiendo la lógica del imperativo tecnocientífico y de la equiparación de seguridad con control, la mismas gestión y estabilización de los eventuales problemas y riesgos se plantean en términos de un perfeccionamiento de los sistemas técnicos mediante su diseño tecnocientífico⁵. Es decir, al definir la gestión racional en función de la optimización del control, la tendencia a la tecnocientificación total del entorno se hace compulsiva. De esta forma, la política del modelo tecnocientífico tiende, por su propia dinámica, a la transformación y organización de la sociedad y de la naturaleza en sistemas tecnocientíficos, es decir, en entramados completamente predecibles y controlables.

Ahora bien, con la expansión del proceso de tecnocientificación los sistemas tecnocientíficos se hacen cada vez más complejos y se interrelacionan formando redes que abarcan la totalidad del entorno vital. Este entramado deviene asimismo cada vez más complejo y propenso a que fallos relativamente pequeños desemboquen en grandes catástrofes. Como se ha hecho evidente en el caso de sistemas tecnológicos de la energía nuclear, la química sintética o la ingeniería genética (especialmente problemáticos por no ser compatibles con fallos menores sin riesgo de consecuencias irreversibles) con la mayor capacidad de intervención y control tecnocientífico crece también la potencialidad del riesgo. La misma gestión tecnocientífica de los riesgos conduce a una espiral de riesgo. Pues implica un incremento del control de los sistemas tecnológicos sólo alcanzable mediante una mayor tecnocientificación del entorno que, a su vez, es el origen de nuevos riesgos potenciales, por lo general de mayor alcance y con consecuencias más extremas. Por otra parte, la gestión de los eventuales riesgos derivados de una producción tecnocientífica desenfrenada supone una expansión de la evaluación de impactos y de riesgos prácticamente irrealizable⁶.

Cuando el mínimo descontrol corre el riesgo de convertirse en una catástrofe, es explicable que se acabe identificando la gestión y solución racional con un control tecnocientífico aún más absoluto. Sin embargo, la tecnocientificación total completamente exenta de fallos no ha llegado a realizarse ni es prácticamente realizable a gran escala, ni siquiera en los sistemas tecnológicos considerados más avanzados, como la química sintética o la tecnología nuclear (Gleich, 1991.). Mucho menos hay que esperar que llegue a ser realidad en el complejo entramado de los dominios sociales, a pesar de las insistentes profecías de un mundo feliz y las visiones futuristas de un entorno vital transformado en una perfecta megamáquina biológica y social, gracias al diseño y la construcción tecnocientífica total de la naturaleza y la sociedad (Sanmartín, 1987). El fracaso ecológico y social del modelo tecnocientífico estriba en la imposibilidad de una realización absoluta del imperativo tecnocientífico. Pero, aparte de los riesgos específicos, el proceso compulsivo de la tecnocientificación conlleva un riesgo cultural global de aún mayor trascendencia, el de la unidimensionalidad tecnocientífica. La tecnocientificación de un dominio, es decir, su transformación en

5. El diseño tecnocientífico, p. ej. el niño probeta, se presenta como la vía del progreso hacia una perfección de la sociedad y del bioentorno que ha de permitir la solución de problemas que ni la evolución natural ni la historia social han sido capaces de resolver.

6. Como es evidente, p. ej., en el caso concreto de la química sintética (Gleich, 1991).

un sistema tecnocientífico, genera eventualmente incompatibilidades con otros dominios técnicos no tecnocientificados que conforman conjuntamente un entorno determinado. Por una parte, el desarrollo de los dominios tradicionales se hace imposible en un entramado cada vez más tecnocientificado y, por otra, éstos resultan disfuncionales para los sistemas tecnocientíficos y tienden a ser absorbidos por el imperativo de la tecnocientificación. Cada sistema técnico corresponde a formas de intervención y de interacción determinadas. Los sistemas de intervención blanda se hacen inviables en un medio intensamente tecnocientificado con formas de intervención e interacción basadas en el control absoluto. El imperativo de la tecnocientificación total desemboca en la homogeneización tecnocientífica, con la desaparición no sólo de especies biológicas sino también de especies culturales basadas en sofisticados sistemas técnicos *blandos*.

CONCLUSIONES Y EVALUACIÓN

A través de la progresiva transferencia de los procedimientos tecnocientíficos a todos los ámbitos de la investigación y de la intervención científica, el *modelo tecnocientífico de intervención* se ha constituido en la base de la gestión y de la solución "racional" de problemas. Así, en la evaluación de tecnologías se ha intentado aplicar este modelo a la gestión de los impactos y riesgos del propio desarrollo tecnocientífico (Medina, 1992). Las concepciones estándar de la ciencia y la tecnología no sólo han servido para intentar justificar dicho desarrollo como un proceso autónomo e imparale conforme a las tesis del determinismo tecnológico, sino también para legitimar el modelo de intervención y gestión tecnocientífica como paradigma de la eficiencia y de la acción racional. A su vez, la implementación del modelo como realidad política ha estabilizado las concepciones de la ciencia y la tecnología involucradas como representaciones adecuadas del mundo real⁷.

Sin embargo, la crisis del modelo estándar de evaluación de tecnologías (Medina, 1992) ha puesto de manifiesto la gran disociación existente entre la configuración real del cambio científico y de la innovación tecnológica y la política oficial de evaluación y gestión de los mismos. Dicha disociación está

estrechamente relacionada con las concepciones tradicionales de la ciencia y de la tecnología y representa la consecuencia última de una serie de disociaciones y compartimentaciones disciplinarias que configuran tanto la investigación, la organización y la formación académica y profesional, como la educación en general. Todas ellas reproducen, de un modo u otro, la disociación conceptual y teórica fundamental entre las elaboraciones teóricas y las realizaciones tecnológicas, los contenidos descriptivos y los procesos evaluativos y normativos, la actividad de los científicos y el entramado social y político, la investigación científica "objetiva" y la configuración tecnológica del entorno.

Según las concepciones tradicionales de la ciencia y de la tecnología que sirven de base y legitimación para la política científica y tecnológica y para las formas dominantes de educación e investigación, la auténtica investigación científica y sus resultados se caracterizan por su presunta neutralidad e independencia respecto a la organización social y a las circunstancias y metas políticas dadas. Conforme a esta interpretación estándar, la ciencia se ocupa de contenidos descriptivos y teóricos, claramente distintos y disociados de cualquier tipo de objetivos e intencionalidades normativas o evaluativas. A pesar del predominio de estas concepciones, los Estudios de Ciencia y Tecnología han logrado poner claramente en evidencia la distorsionada imagen tradicional y sus ficticias disociaciones. La *Nueva Imagen* de la ciencia y la tecnología se basa en la interpretación del desarrollo científico y de la innovación tecnológica como procesos constructivos dentro del estrecho entramado de la ciencia, la tecnología, la naturaleza y la sociedad.

Los resultados de dichos estudios sobre el cambio científico y la innovación tecnológica tienen importantes implicaciones para la reorientación de la formación y organización académicas y de la educación en general. Para la gestión factible de los problemas derivados de los desarrollos científicos y tecnológicos se impone asimismo un replanteamiento de la evaluación de tecnologías y de la política científica que tenga en cuenta dichos resultados. La evolución de la investigación científica y de la innovación tecnológica no pueden disociarse de

7. En el intento de legitimar el proceso de tecnocientificación se llega incluso a echar mano de la teoría de la evolución para caracterizar el desarrollo tecnocientífico como un proceso evolutivo, en el que las nuevas tecnologías representan una *tecnoevolución*, o sea, una nueva fase evolutiva que continúa y culmina la fase previa de la bioevolución. La evolución tecnocientífica se convierte en un proceso autónomo e imparale conforme a las tesis del determinismo tecnocientífico. Sin embargo, la legitimación teórica naturalista del proceso de tecnocientificación confirma, paradójicamente, el carácter constructivo de la naturaleza. Si, como implícitamente se presupone, *todo lo producido tecnocientíficamente forma parte de la naturaleza* (a esta afirmación se la puede llamar el *principio de tecnonaturalización*), entonces la naturaleza es tecnológicamente reproducible. Es decir, la naturaleza es una construcción social e histórica del hombre (Böhme, 1990).

la política ni de la evaluación o de la educación, porque de hecho forman parte de un complejo entramado que exige un tratamiento global e interdisciplinario. Precisamente los Estudios de Ciencia y Tecnología pueden jugar un papel importante de integración entre el mundo "científico" de la investigación y la educación y el mundo "político" de la gestión, la evaluación y la regulación prácticas

Pero para poder configurar en la realidad una evaluación de tecnologías y una política científica de acuerdo con los actuales estudios sobre la ciencia y la tecnología, se ha de superar primero la gran disociación existente entre los contenidos y la práctica de los *curricula* científicos y tecnológicos, por un lado, y las cuestiones planteadas por la evaluación y la gestión de la ciencia y la tecnología, por otro. Partiendo de la cuestión acerca de cómo debería organizarse la producción y la enseñanza del conocimiento, se ha de plantear la configuración práctica de modelos interdisciplinares de investigación y educación capaces de incidir en un *desarrollo compatible* de la innovación tecnológica. Frente a la política competitivista que promueve la innovación tecnológica indiscriminada y la posterior gestión tecnocrática de los efectos negativos, y en contraposición a las formas de investigación y educación en ciencia y tecnología progresivamente compartimentadas y especializadas (de modo que quedan por completo disociadas de las cuestiones relativas a la evaluación y gestión del desarrollo científico y tecnológico) los modelos *interdisciplinares* han de tener como un objetivo primordial la innovación tecnológica compatible, o sea, su compatibilidad tanto ambiental como social, económica y democrática.

La integración del análisis constructivo de compatibilidades, incompatibilidades y riesgos en los estudios y los *curricula* de ciencia y tecnología constituye el puente capaz de establecer el nexo de la investigación empírica y teórica con la evaluación, afirmando la relevancia política de dichos estudios. La conceptualización constructiva de compatibilidades o incompatibilidades requiere, sin embargo, un marco teórico común que abarque el entramado global en el que la ciencia y la tecnología se entrelazan *sin costuras* con la totalidad de los demás dominios de la práctica. La tarea primera de una *teoría constructiva de la ciencia y la tecnología* consiste, precisamente, en elaborar las distinciones conceptuales y teóricas fundamentales que permitan integrar interdisciplinariamente los estudios científico-tecnológicos, históricos y sociales junto con la evaluación y la política de la ciencia y la tecnología. El carácter interdisciplinar de dichas distinciones

constructivas ha de basarse en la práctica común (*predisciplinar* y *precientífica*) dentro del complejo mundo de la vida ordinaria, de forma que puedan servir, consecuentemente, de base conjunta tanto para los estudios descriptivos y normativos de la ciencia y la tecnología como para la deliberación y la gestión pública.

Referencias bibliográficas

Beck, U. 1986. *Risikogesellschaft. Auf dem Weg in eine andere Moderne*. Frankfurt /M.: Suhrkamp.

Böhme, G./Daele, W. van den/ Krohn, W. 1978. "Die Verwissenschaftlichung von Technologie", en Böhme, G./Daele W. van den/Hohlfeld, R./Krohn, W./Schäfer, W./Spengler, T. (eds.) *Die gesellschaftliche Orientierung des wissenschaftlichen Fortschritts*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.

Böhme, G. 1990. "Die Natur im Zeitalter ihrer technischen Reproduzierbarkeit", *Information Philosophie* 2: 5-17.

Brush, S.G. 1988. *The History of Modern Science. A guide to the Second Scientific Revolution, 1800-1950*. Ames: Iowa State University Press.

Einstein, A. 1977. *Principios de la investigación. Discurso con motivo del sexagésimo aniversario de Max Planck (1918), en Mein Weltbild*, Frankfurt/M, Berlin, Wien: Ullstein Verlag.

Gleich, A. von 1991. "Über den Umgang mit Natur. Sanfte Chemie als wissenschaftliches, chemiepolitisches und regionalwirtschaftliches Konzept", *Wechselwirkung* 48: 4-11.

Latour, B. 1983. "Give Me a Laboratory and I will Raise the World", en Knorr-Cetina, K.D./Mulkay, M.J. (eds.) 1983. *Science Observed: Perspectives on the Social Study of Science*. London/Beverly Hills: Sage.

Latour, B. 1988. *The Pasteurization of France*. Cambridge MA.: Harvard University Press.

Latour, B. 1990. "Postmodern? No, Simply Amodern! Steps towards an Anthropology of Science", *Studies in History and Philosophy of Science* 21: 145-171.

Medina, M. 1985. *De la techne a la tecnología*.
Valencia: Tirant lo Blanc.

Medina, M. 1992 "Nuevas tecnologías, evaluación de la innovación tecnológica y gestión de riesgos", en Sanmartín, J./Medina, M. (eds.) *Estudios sobre sociedad y tecnología*. Barcelona: Anthropos.

Medina, M. 1993. "Estudios de ciencia y tecnología para la evaluación de tecnologías y la política científica", en Sanmartín, J./Hronzky, I. (eds.) *Superando fronteras. Estudios europeos de*

Ciencia-Tecnología-Sociedad y evaluación de tecnologías.
Barcelona: Anthropos.

Riera, S.1994. *Mes enlla de la cultura tecnocientífica*. Barcelona: Edicions 62.

Sanmartín, J. 1987. *Los nuevos redentores. Reflexiones sobre la ingeniería genética, la sociobiología y el mundo feliz que nos prometen*. Barcelona: Anthropos.

von Weizsacker, C.F. 1974. *Die Einheit der Natur*. München: dtv.

2002, *una odisea del espacio*, película realizada por Stanley Kubrick en 1967, basada en la obra del escritor inglés Arthur C. Clarke. (Fotografía en Enciclopedia Salvat del Cine, 1979)

