BARATARIA
Revista Castellano-Manchega de Ciencias Sociales
Nº 6, pp. 25-46, 2003-2004, ISSN: 1575-0825, e-ISSN: 2172-3184
DOI: http://dx.doi.org/10.20932/barataria.v0i6.244

LAS RELACIONES CIENCIA-TECNOLOGÍA DESPUÉS DE MERTON

Víctor Guijarro*

En el año 1938, Robert K. Merton, reconocido como uno de los grandes sociólogos del siglo XX, recientemente fallecido a la edad de 93 años, publicaba su tesis doctoral revisada con el título de *Ciencia, tecnología y sociedad en la Inglaterra del siglo XVII*[1] (CTSI). La aparición de esta obra ya clásica en la historiografía y la sociología de la ciencia significaba la culminación de una etapa, que ocupa los años 1920 y 1930, en la que adquieren un notable protagonismo los enfoques conocidos como "externalistas", esto es, los trabajos centrados en subrayar la influencia de los factores sociales, culturales y económicos en la constitución y el devenir de la ciencia y la tecnología[2]. CTSI representó así una contribución decisiva a esta tendencia mediante la defensa, acompañada de abundante información estadística, de dos conocidas tesis. Por un lado, se relacionaban las formas inglesas del puritanismo con la promoción de la ciencia en general y, por el otro, se conectaban los focos de interés económico de la época con el sesgo tecnológico que adquieren determinadas áreas de la ciencia, siendo las ciencias físicas las beneficiadas en los índices de atención de los filósofos naturales y matemáticos de la época.

Mientras que la primera idea fue objeto de numerosos debates y controversias, que pueden consultarse en la recopilación de I. B. Cohen, *Puritanism and the Rise of Modern Science* (1990), la segunda no despertó en los años sucesivos un interés similar[3]. Una prueba de esta desproporción la aporta la conmemoración del 50 aniversario de la publicación de CTSI. Los tres escritos

* Profesor de la Universidad Rey Juan Carlos y miembro de la Asociación Castellano-Manchega de Sociología.

presentados al symposium organizado con este motivo[4] sin duda ayudaban a esclarecer diversos aspectos de la obra de Merton, pero ninguno de ellos se refiere a la segunda de las tesis comentadas, es decir, a la que relaciona la economía con la ciencia y la tecnología.

Por otra parte, tampoco puede afirmarse que en la bibliografía en general, al menos hasta los años 80, ocupen un lugar destacado los análisis históricos que tuvieran en cuenta dos notables excepciones la convergencia de estos dos ámbitos en el período examinado.

Cabe destacar, sin embargo, dentro de la atonía general relacionada con la propuesta mertoniana: las posiciones críticas del historiador de la ciencia y la tecnología, A. R. Hall, reflejadas en diversos estudios de mediados del XX, y las más conciliadoras, si bien exentas del deseado desarrollo, de T. S. Kuhn (1968). Los detalles de sus propuestas así como de los trabajos donde se exponen serán ofrecidos a lo largo de este estudio.

Así pues, en las líneas que siguen se propone una relectura de CTSI a la luz de los comentarios de Hall, Kuhn y otros autores. Su finalidad es determinar el alcance y limitaciones del modelo que aquí se presenta para el análisis de las relaciones ciencia-tecnología en épocas en las que la ciencia se encontraba en vías de institucionalización (la Europa del siglo XVII), es decir, de la descuidada segunda tesis entendida como una propuesta independiente de la obra. A partir de estas reflexiones se plantean en la última parte del artículo diversos criterios generales destinados a orientar los enfoques históricos de las relaciones ciencia-tecnología, cuya finalidad es superar los análisis poco realistas y del modelo lineal[5], ejemplificados en obras como la de J. D. Bernal[6], así como determinar la importancia y lugar de los elementos sociológicos en este tipo de estudios.

Merton considera la ciencia como un fenómeno histórico sujeto a fuerzas de tipo socioeconómico. Expresado de esta forma, y si no se añaden más matices, la idea se enmarca en la doctrina marxista clásica. En efecto, se ha señalado[7] la vinculación de la sociología del conocimiento así como de la sociología de la ciencia[8], auspiciada por M. Weber, K. Mannheim y Merton, con versiones exentas de componentes subversivos y revolucionarios del pensamiento de K. Marx. Nuestro autor, en particular, como muestra de esto último evita en CTSI las alusiones a conceptos ideológicos al tratar la influencia de los elementos socioeconómicos en la orientación de los estudios científicos[9].

Además de esta vinculación heterodoxa con la tradición mencionada, los presupuestos para el estudio de la ciencia derivan de sus posiciones más generales relativas a la sociología del conocimiento, por un lado, y de su propia imagen de la sociedad, por el otro. Sobre lo primero, concibe el conocimiento no como un elemento aislado, que se justifique a sí mismo, sino como una "producción mental"[10] integrada en un sistema y provisto de una función determinada. En cuanto a lo segundo, para Merton, la sociedad es un marco en el que convergen múltiples instituciones (educativas, culturales, económicas) interdependientes[11]. Para resumirlo, empleando

lo afirmado al inicio del párrafo anterior, cada sociedad define unas prioridades cognoscitivas en un momento histórico determinado. La ciencia, por constituir un tipo de conocimiento especial, no puede quedar al margen de estas dependencias.

Es el cómo, no el qué, lo que le interesa al sociólogo. No se analizan los fundamentos epistemológicos, o el contexto de justificación de las teorías, sino las condiciones sociales que hacen posible la investigación y, en general, el trabajo científico. De esta forma, incorporando a todas las ramas de la ciencia en este empeño teórico, la sociología del conocimiento no queda limitada a las cuestiones de las ciencias sociales, ideológicas o filosóficas, sino que contempla igualmente, en contra de presupuestos aplicados hasta entonces, las ciencias naturales, la física, la biología, la química y las ciencias exactas.

Para llevar a cabo estos cometidos es preciso efectuar una distinción previa. En un primer nivel se contemplan las relaciones entre la ciencia y los otros subsistemas sociales (nivel externo); en el otro, centrado en el funcionamiento interno de la ciencia, se tendría en cuenta la función de sus elementos estructurales, como las normas, los incentivos, los procedimientos de evaluación y transmisión de resultados, la organización, la jerarquía, etc. Atendiendo a esta división, los trabajos fundamentales de sociología de la ciencia de Merton se clasificarían de la siguiente forma.

En el nivel externo se aborda el cambio de la ciencia como institución, estudiándose las condiciones que favorecen u obstaculizan su cultivo, así como la relación entre tecnología y economía. Se incluyen aquí los siguientes trabajos:

- "Fluctuation in the Rate of Industrial Inventions", *Quarterly Journal of Economics,* 49 (1935), pp. 454-474. Mediante el examen del número de patentes aceptadas en diferentes ámbitos industriales entre los años 1860 y 1930 en Estados Unidos, se analizan las relaciones entre los factores socioeconómicos y los focos de interés de los inventos.

- Ciencia, tecnología y sociedad en la Inglaterra del siglo XVII (1938).

-"Science and the Social Order", *Philosophy of Science*, 5 (1938), pp. 321-337. "La ciencia y el orden social" (1938), recogido en R. K. M., *La sociología de la ciencia*, vol. II, pp. 339-354. Trata el tema de las condiciones que favorecen u obstaculizan la práctica científica; como ejemplo se analiza el caso de la Alemania Nazi desde 1933, donde se difunden valores en conflicto con las normas del ethos científico. Es interesante además porque refleja los intereses del autor en la época en la que se elaboró CTSI.

- "Science and Technology in a Democratic Order", *Journal of Legal and Political Sociology*, 1 (1942), pp. 115-126, "La estructura normativa de la ciencia", Merton, La sociología..., vol. II, pp. 355-368. Se definen los elementos del ethos científico: universalismo, comunalismo, desinterés y escepticismo organizado.

En el nivel interno del funcionamiento de la ciencia el número de trabajos es mayor. Se destacan los siguientes, donde se analizan los problemas que contienen los sistemas de reconocimiento, recompensa y evaluación de la labor científica:

-"Priorities in Scientific Discoveries", *American Sociological Review*, 22 (1957), pp. 635-59; "Las prioridades en los descubrimientos científicos", en *Sociología de la ciencia*, vol. II, pp. 377-422. Se analizan las fuentes de las disputas sobre prioridades producidas a lo largo de la historia; entre estas causas el autor destaca la propia estructura de la ciencia como institución, donde se valora el avance del conocimiento y las contribuciones originales, y no factores personales. Sin embargo, una institución puede acoger valores incompatibles (es decir, una función que produce una disfunción, una de las ideas originales del autor[12]); por ejemplo, la originalidad sirve para el avance de la ciencia, pero perseguida obsesivamente puede convertirse en un fin en si mismo egoísta o carente de modestia.

-"The Matthew Effect in Science: The Reward and Communication Systems of Science are Considered", *Science*, 159 (1968), pp. 55-63, "El efecto Mateo en la ciencia", en Soc, vol.II, pp. 554-578. Se examinan los criterios empleados en la asignación de reconocimientos a los científicos, en particular se hace notar que, aplicando el efecto Mateo, científicos eminentes logran un crédito y una atención desproporcionadamente grande y la de los desconocidos tiende a ser demasiado escasa. (El Evangelio según San Mateo dice: "Pues al que tenga se le dará, y tendrá abundancia; pero al que no tenga se le quitará hasta lo poco que tenga"). De nuevo un sistema pretendidamente justo, el del reconocimiento por la contribución en la ciencia genera una disfunción, materializada en un sistema doblemente injusto.

LA SEGUNDA TESIS DE CTSI: UN MODELO PARA LAS RELACIONES DE LA ECONOMÍA, LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

La comprensión de las ideas y evidencias presentadas en CTSI precisa la aceptación previa de tres premisas. Primero, se parte del principio sociológico mencionado relativo a la interdependencia de las instituciones. La segunda se refiere al estado de la ciencia en la Inglaterra del XVII, que se encuentra en vías de institucionalización. En tercer lugar, y derivado de lo anterior, la ciencia no goza de autonomía (la defensa del conocimiento por sí mismo, o lo que es lo mismo, de la ciencia pura, es una actitud extraña dentro de este contexto); es necesario, por tanto, para la supervivencia de esta actividad, contar con formas de legitimación no estrictamente científicas, ya sean culturales (modalidades puritanas del protestantismo inglés) o económicas.

Por otra parte, los hechos constatados en los estudios empíricos llevados a cabo son: primero, un número alto de ingleses se dedican a la ciencia y a la tecnología en las décadas quinta y sexta del XVII, y segundo, entre los diferentes campos de interés científico (divididos en nueve categorías) se observa que, una vez examinadas las ponencias y reseñas bibliográficas publicadas en las *Philosophical Transactions* entre 1665 y 1702, la atención por las ciencias físicas, que comprenden la Astronomía, la Física, la Química y la Tecnología, es significativamente más alta

que en los otros ámbitos. Este interés se conserva hasta aproximadamente 1684-1687, fechas en las que se sustituye paulatinamente esta dedicación por una mayor preocupación por las ciencias humanas (la Historia, la Arqueología, la Economía, la Filología y la Aritmética política). Las tablas comparativas 4, 5 y 8 de CTSI aportan los datos que justifican esta conclusión. Una vez finalizada la aportación fáctica, concentrada en el cap. 3, se pasa a las secciones explicativas.

La primera observación, referida al número de ingleses dedicados a la ciencia y a su aumento, planteaba dos cuestiones. En primer lugar, qué campos de interés atienden con mayor dedicación los científicos, asunto que ya ha sido desarrollado en el párrafo anterior. En segundo lugar, cuáles son las causas de este incremento. En cuanto a las razones, estas se dividen en dos grupos, las relacionadas con los valores de la variante inglesa del protestantismo, donde destaca la defensa del utilitarismo, y la influencia de los intereses económicos dominantes. La primera explica el interés general por la ciencia y la tecnología, sin embargo la segunda, la que nos interesa, daría cuenta de los focos de atención específica dentro de estos dos ámbitos. Nos centraremos en esta última por ser la más descuidada, como se dijo, por los comentaristas posteriores.

Está dividida en dos grandes secciones: "investigaciones relacionadas con necesidades socio-económicas" y "ciencia pura" (más adelante se comentarán los diferentes conceptos empleados en la clasificación). En el primer grupo se establecen cuatro divisiones: transporte marítimo y navegación, minería y metalurgia, tecnología militar, industria textil y tecnología general y ganadería. Para cada una estos grupos se hacen dos distinciones: "investigaciones directamente relacionadas" e "investigaciones indirectamente relacionadas". Así, tenemos para el caso del transporte marítimo[13] :

a) Investigaciones directamente relacionadas.

1. Estudios sobre la brújula: desviación magnética.
2. Mapas marítimos e hidrografía.
3. Métodos para la determinación de la posición de un barco en el mar: longitud y latitud[14] .
4. Estudios sobre los tiempos de las mareas.
5. Métodos para la fabricación de barcos e invenciones de accesorios para barcos[15] .

b) Investigaciones indirectamente relacionadas.

1. Estudio de los cuerpos en el agua: para mejorar las cualidades de flotación de los barcos.
2. Observaciones de los cuerpos celestes para determinar la latitud y longitud.
3. Estudios de botánica y silvicultura en la medida en que afectan a la provisión de madera para barcos.

En resumen, se obtienen los siguientes resultados:

- Investigaciones ciencia pura: 41,3 %
- Investigaciones indirectamente relacionadas: 28,5 %
- Investigaciones directamente relacionadas: 30,2 %

Por tanto, según Merton, "alrededor del 70 por 100 de estas investigaciones no tuvieron asociaciones prácticas"[16] . Pero luego matiza: "Puesto que estas cifras sólo son toscamente aproximadas, se pueden resumir los resultados diciendo que del 40 al 70 por 100 estuvo en la categoría de ciencia pura; y a la inversa, que del 30 al 60 por 100 estuvo influido por requerimientos prácticos"[17] .

De esta forma, dentro de ese margen 30-60 (el de las "directamente relacionadas") están comprendidos los trabajos de individuos que reconocían explícitamente la conexión con la investigación o aquéllos cuya discusión en las reuniones evidenciaba la correlación práctica. El resto, para el autor, es "ciencia pura", es decir, investigación desprovista manifiesta o tácitamente de vinculaciones con industrias, artes y manufacturas. Aunque una investigación tuviera una finalidad práctica, si en realidad derivaba de problemas anteriores, se clasificaría como "pura". Termina diciendo, antes de mostrar la clasificación así como los resultados, que "este procedimiento sólo proporciona una tosca aproximación al grado de las influencias extrínsecas sobre la selección de temas para su estudio científico. Los resultados sólo pretenden sugerir el alcance relativo de las influencias que hemos rastreado en un gran número de casos concretos"[18] .

Por medio de estos resultados y explicaciones sabemos algo más de la concepción del autor acerca de las distinciones entre la ciencia y la tecnología. En el Prefacio de 1970 señalaba, al revisar las virtudes de la obra, que no se alineaba con una tesis simplista, propia del marxismo vulgar, que sostuviera la dependencia completa de razones económicas en la selección de problemas. También afirmaba que en este trabajo se hacía una distinción "de un extremo al otro, con razonable claridad, entre la ciencia y la tecnología, distinción esencial que, como señalo, no se hacía uniformemente en los días en que fue escrita la monografía y que aún hoy [1969] resulta borrosa"[19] . Esta indicación precisa una aclaración, ya que no es cierto que a lo largo de la obra se establezca esa neta diferenciación, más bien al contrario. Sólo en el contexto de los resultados examinados anterioremente es cuando, en función de las divisiones, pueden intuirse estas distinciones. "Ciencia" es para él la ciencia pura y "tecnología" correspondería con la ciencia aplicada, es decir, toda investigación orientada directamente a la consecución de un fin práctico. Precisamente estas definiciones se asociarían con el modelo tradicional o modelo lineal (ciencia aplicada = tecnología), con consecuencias desiguales para la evaluación histórica de las contribuciones prácticas de la ciencia, y que ha sido objeto, como se señalará más adelante, de diversas críticas.

Para concluir con el modelo que presenta Merton, la sociología de la ciencia y, en particular, la obra objeto de nuestro examen, tiene como cometido analizar las

llamadas "fluctuaciones de largo alcance". No es el objetivo de este tipo de trabajos desenmascarar las razones de producciones particulares o bien las fluctuaciones menores dentro de una disciplina. Estas últimas están determinadas por la historia interna de la ciencia. Como ejemplo de "fluctuación menor" señala las investigaciones de Gilbert sobre magnetismo o las de Harvey sobre anatomía y fisiología; en las ciencias exactas estos desarrollos "menores" pueden producirse por contribuciones importantes de grandes matemáticos. Pero esto pertenece al historiador de la ciencia. Al ámbito extracientífico, es decir, a la sociología, pertenecen, en cambio, los "tipos generales de problemas que abordan los científicos, que a su vez sugieren una multitud de problemas derivados"[20] . Nada se sugiere, por tanto, acerca de logros específicos ni sobre los resultados de estas labores.

El historiador de la ciencia y de la tecnología, A. R. Hall, pertenece al reducido grupo de autores que centraron su atención en el aspecto de la obra de Merton que aquí se está examinando. En una serie de trabajos, publicados en la década de los 50 y de los 60[21] , donde se analizaban las relaciones de la ciencia y la tecnología en la época de la Revolución Científica, se ofrecía una visión que contrastaba con la perspectiva sociológica anterior, esto es, la postura que reivindicaba la influencia de los factores extracientíficos en las labores de sabios y aficionados. La aproximación de Hall a estos problemas ha sido calificada, por parte de los biógrafos de Merton, de internalista[22] , sugiriendo con ello una suerte de factor incomensurable entre ambos enfoques, conclusión que no se comparte en el presente estudio. Más allá de las etiquetas, diversas afirmaciones vertidas en los trabajos mencionados representaron un serio cuestionamiento de las ideas presentadas anteriormente.

La lectura autorizada[23] que Hall hace de las relaciones ciencia-tecnología en los siglos XVI y XVII parte de una idea central: frente a una ciencia tecnológicamente orientada, como sostiene Merton, una ciencia y una tecnología autónomas. Ni en la elección de los temas ni en el perfil de quienes realizaron contribuciones a la ciencia existen patrones sociológicos o económicos claramente definidos[24] . Sí hay, reconoce el autor, un cambio de actitud del científico hacia la práctica: en contra de los hábitos del pasado, donde existe una separación entre comprender y hacer, en el período de la *Revolución Científica*, los procedimientos empleados por los artesanos tienen una cierta relevancia para el filósofo natural[25] . Pero es el científico quien para desarrollar sus propios conocimientos o el tratamiento de problemas que cuentan con importantes tradiciones decide incorporar aspectos metodológicos de estas prácticas. El artesano, por su parte, permanece al margen de estas innovaciones teóricas. Dos conclusiones se obtienen de estas evidencias: a) el científico, como Galileo en los *Discorsi* (1638) o Ch. Huygens en su *Horologium Oscillatorium* (1673), llevan a cabo análisis matemáticos de problemas mecánicos, como el de la isocronía del péndulo o el de la resistencia de materiales, cuyos resultados no son aplicados y b) los científicos mostraban un entusiasmo por las aplicaciones de

la ciencia (de ahí la retórica del utilitarismo) que los técnicos no compartían[26] . Las consecuencias de a) son: apertura de nuevos temas para la ciencia y el establecimiento de una tradición que se mantuvo en el siglo siguiente. La de b) es el mantenimiento de la autonomía de la tecnología, si bien Hall reconoce una influencia indirecta de la ciencia en este ámbito, la de la noción de precisión, que comenzó a tener una cierta influencia en los ingenieros, particularmente entre los topógrafos[27] .

¿Cuál sería la aportación de la aproximación sociológica al estudio de estos temas? De acuerdo con los resultados y las observaciones del estudio mertoniano, la investigación pone de manifiesto que en el contexto de un profundo crecimiento económico, manifestado en el desarrollo del comercio, de la industria textil y la minería, así como de las empresas militares, y teniendo en cuenta la sensiblidad del científico hacia estos cambios, una parte importante de la ciencia se vuelca hacia la práctica, es decir, hacia la tecnología. Como respuesta a las demandas de estos ámbitos económicos y militares se seleccionan ciertos problemas científicos y se marginan otros. La evidencia empírica acerca de los focos de interés de los científicos ingleses del XVII, de la que se han ofercido los resultados fundamentales, confirmaría estos extremos. Según lo expuesto en el párrafo anterior, Hall no negaría el juicio sobre la expansión comercial ni la dedicación de los científicos a ciertos temas, pero lo que no compartiría es que éstos, los sabios de ese período, participasen mediante sus aportaciones tecnológicas en algún apartado del entramado económico. Todas las actitudes, intereses y procedimientos de los científicos son explicables desde la ciencia, no desde hipotéticos factores externos, cuya única influencia consistiría en haber sugerido nuevos problemas que podrían ser susceptibles de tratamiento matemático, físico o químico. ¿Podría hablarse pues de una relación causal entre factores socioeconómicos y el trabajo y resultados de los científicos? Según Hall, no, porque, además de lo dicho, tampoco la propia tecnología lo demandaba (sin tener en cuenta que el propio análisis científico pudiera ser erróneo). Cuando se refiere, en particular, a la balística afirma[28] :

"En mi libro de 1952 (*Ballistics in the Seventeenth Century*, Cambridge, University Press; rep. 1969) se argumentó que no existía evidencia que apoyase la idea de una determinación tecnológica en la elección de los problemas. El arte militar del momento era incapaz de adoptar una teoría matemática del vuelo del proyectil y aplicarlo posteriormente a la práctica, ni (hasta lo que se ha podido comprobar) tampoco pretendió hacerlo, al menos antes de la muerte de Newton. Por tanto, si los sabios desarrollaron una teoría al margen de los deseos de resolver problemas prácticos, entonces estaban equivocados. Mi punto de vista era, sin embargo, que ellos se interesaron por los problemas balísticos no por estas razones, sino porque eran intelectualmente fascinantes y porque de alguna manera estaban abiertos a la posibilidad de una solución. Señalé que la tradición del interés por el movimiento de los proyectiles se remonta a Aristóteles; que fue un asunto central en los desarrollos filosóficos de la mecánica; y que era absurdo suponer que esta

tradición se había visto afectada por la invención de la pólvora y la introducción de la artillería. Si Leonardo da Vinci es el primero que aproxima la tradición postaristotélica de la mecánica académica a la tosca artesanía de la artillería, fue el matemático Niccolo Tartaglia quien primero publicó su matrimonio (en 1537) e intentó, sin éxito, hacerlo matemáticamente productivo. Las ideas de Tartaglia estaban basadas, por un lado, en ideas académicas perfectamente convencionales y, por la otra, en improbables hechos empíricos que él imprudentemente supuso estaban confirmados por la práctica de los artilleros. La significativa y correcta idea acerca de la forma de la trayectoria fue rechazada por casi todos los estudiosos posteriores, antes de Galileo."

En la misma línea, el historiador Richard S. Westfall discute las aportaciones que el filósofo natural R. Hooke realizó a la tecnología[29] , un personaje con especial sensiblidad hacia los problemas mecánicos y con un brillante curriculum en el apartado de los inventos. Después de analizar tres problemas técnicos en los que centró su atención (mejora de mecheros para la provisión de una llama constante y uniforme, la forma y disposición ideal de las velas de los barcos y los relojes), el autor concluye que se produce un relativo fracaso en el tratamiento científico de estas cuestiones, hecho que constituye un signo de las precauciones que deben tomarse a la hora de hablar en el siglo XVII de una tecnología basada en la ciencia. Es cierto que Hooke, sigue Westfall, realizó contribuciones técnicas sobresalientes, pero éstas proceden no de planteamientos científicos, cuyo estado no lo permitía, sino de su predisposición mental y destreza en los terrenos prácticos y mecánicos.

En cualquier caso, el propio Merton era consciente del alcance de su estudio. Primero, se distancia de las tesis del "marxismo vulgar"[30] , rechazando que toda la investigación esté regida por intereses económicos[31] . Segundo, su aproximación sociológica explica las tendencias, los "tipos generales de problemas tratados", no la historia interna de las disciplinas, como ya se indicó. Tercero, admite, defendiéndose de las críticas de Hall, que la finalidad tecnológica no explica toda la labor científica, lo cual no presupone que "no significara nada"[32] .

Estas puntualizaciones junto con las críticas señaladas invitan no tanto a un rechazo de las propuestas de Merton, así como en general del enfoque sociológico, como a su revisión. T. S. Kuhn ya indicó[33] que si bien la evolución de las ciencias clásicas, la astronomía, las matemáticas, la mecánica y la óptica, puede explicarse a partir de las aportaciones de personas formadas universitariamente y desde la extensión de una tradición medieval y antigua desarrollada en un nuevo ambiente conceptual, otras áreas de actividad científica, como la electricidad, el magnetismo, el calor, la química siguieron pautas diferentes, mostrando una notable dependencia de las artesanías vigentes. Junto con estas ideas, el autor de *La estructura de las revoluciones científicas* rescataba del olvido las aproximaciones socioeconómicas al llamar la atención sobre su utilidad especialmente en el tratamiento de los temas que presupusieran un análisis de las relaciones de la ciencia y la tecnología. Para

ello, sin embargo, debía reconocerse previamente que el desarrollo interno de una disciplina, aunque fuera de gran importancia, no era suficiente para justificar el interés social de la ciencia. Para que una ciencia fuera "potencialmente aplicable", aseguraba Kuhn, deberían constituirse estructuras institucionales estables que aseguraran la especialización y profesionalización del científico, así como la integración de la ciencia en la formación técnica, acontecimientos que tienen lugar sobre todo durante el siglo XIX[34] . En estos extremos es donde se requiere el concurso del historiador socioeconómico.

Teniendo en cuenta estas advertencias así como las conclusiones generales de esta sección, a continuación se proponen los aspectos que un estudio de las relaciones ciencia-tecnología debería incorporar, ámbito en el que los análisis socioeconómicos desempeñan un papel destacado.

LAS RELACIONES CIENCIA-TECNOLOGÍA: ELEMENTOS PARA UN ESTUDIO HISTÓRICO.

"La verdadera sociología de la ciencia debería tratar de lo que realmente ocurrió y podía ocurrir, no de lo que los hombres pensaron que podría haber ocurrido o debería ocurrir"[35] . Con estas palabras concluye Hall su trabajo más directamente crítico con las tesis mertonianas. Lo que presentamos a continuación son los conceptos, elementos y aspectos que un tratamiento histórico convendría que incorporase para reflejar lo que "realmente ocurrió". Como guía de esta sección metodológica se emplearán las categorías analizadas en la obra de B. Gille, *Introducción a la historia de las técnicas*[36] .

El primer requisito para abordar estos problemas es la aceptación de criterios básicos de diferenciación entre la ciencia y la tecnología. Mientras, en general, la ciencia se interesa por las explicaciones, por el conocimiento, por lo natural, y su ideal es la simplificación y generalización de los fenómenos, la tecnología se ocupa de la fabricación de objetos, de lo artificial y de la complejidad de las necesidades propuestas[37] .

En segundo lugar, es preciso admitir que ni la ciencia está abocada a la provisión de objetos útiles a la sociedad (en contra del determinismo científico) ni la tecnología exige la participación de la ciencia para suministrar avances espectaculares. Diversos autores han reclamado esta independencia, difícil de mantener en la época actual (sobre todo para los partidarios del modelo lineal), como condición para entender los cambios acaecidos especialmente en el seno de la tecnología a lo largo de la historia[38] . Una actitud que queda reflejada adecuadamente en las siguientes palabras de G. Basalla, historiador de esta disciplina[39] :

"Los partidarios de la investigación científica han exagerado la importancia de la ciencia al afirmar que ésta es la raíz de virtualmente todos los cambios tecnológicos mayores. Una evaluación más realista e históricamente más exacta de la influencia de la ciencia en el cambio tecnológico es la de que la ciencia constituye una de entre varias fuentes interactivas de la novedad."

Como la relación entre la ciencia y la tecnología no es natural ni predeterminada, es necesario analizar las condiciones teóricas, técnicas y socioeconómicas que justifican su aproximación. Teniendo en cuenta estas premisas, para tratar la cuestión fundamental planteada a lo largo de este trabajo (¿qué es lo que aporta la ciencia en vías de institucionalización (siglos XVII, XVIII y XIX) a la tecnología?) se debe establecer la siguiente distinción: 1) qué aporta la ciencia al cambio tecnológico (relación directa) y 2) en qué medida contribuye el conocimiento científico a la aplicación o uso de una tecnología específica, una vez iniciada su andadura (relación indirecta). Veamos los detalles de cada uno de estos apartados.

Ciencia y cambio tecnológico. Para desarrollar esta cuestión se seguirán los conceptos empleados en la obra de Gille citada anteriormente, donde se analizan los diversos aspectos que comprende la tecnología. De esta manera se podrá determinar con precisión cuál es el lugar reservado a la intervención de la ciencia. Según este autor, el complejo tecnológico comprende tres fases: la de invención, la de desarrollo y la de innovación[40] . La primera fase, la de la invención, en la que se produce el diseño de un artefacto, dispositivo, técnica o método nuevo, incluye aspectos teóricos (que pueden ser de carácter científico y/o tecnológico[41]), empíricos, psicológicos[42] y sociológicos, en la medida en que el entorno pueda favorecer, estimular o impedir la concepción de propuestas prácticas. En este último ámbito pueden incluirse los siguientes factores contexttuales: la convocatoria de premios, la disposición de un sistema de concesión de patentes, la existencia de corporaciones y gremios, la formación, la difusión y acceso de conocimientos[43] científicos y técnicos, . .

En la segunda fase, la de desarrollo, es en la que se lleva la primera idea al estadio inmediatamente previo al de su explotación industrial o manufacturera. En este caso hay que tener en cuenta factores de tipo teórico, práctico[44] , de tratamiento de materiales y económicos (problemas de financiación). Su finalidad es la consecución de un dispositivo funcional de prueba o prototipo. En la tercera fase, por último, se lleva a cabo la sustitución de una línea técnica determinada por otra, fase en la que predominan consideraciones de tipo socioeconómico, especialmente relativas a las evaluaciones de costes y beneficios[45] . Su objetivo es la sustitución de un sistema técnico por otro.

Algunos ejemplos pueden servir de ilustración y aclaración de estas divisiones. El reloj de pesas, cuyo invento data del tercer tercio del siglo XIV, aparece como un mecanismo en el que se emplean conocimientos prácticos (probablemente basados, por analogía, en los despertadores de los relojes de agua[46]), y desprovisto de utilidades manufactureras, artesanales o industriales. Su construcción obedece al propósito de representar o reproducir los movimientos celestes[47] (motivación simbólica). En cuanto al desarrollo, su fabricación no presenta especiales problemas, si bien incluye la novedad de ser el primer dispositivo mecánico compuesto fundamentalmente de metal. El invento del reloj de péndulo pertenece, sin embargo, a una categoría diferente debido a la intervención de la ciencia de la

época. En sus primeros pasos fue decisiva la aportación de Galileo, quien explicó a su hijo y a su discípulo el proyecto (donde destaca el uso de la propiedad de isocronía del péndulo), sin embargo éste no pasó de las descripciones sobre el papel. El verdadero responsable de su invención, independientemente de las noticias anteriores, es el matemático Ch. Huygens. Su diseño de los movimientos del péndulo está basado en análisis matemáticos que, entre otros problemas mecánicos, aparecen tratados en el mencionado *Horologium.* El reloj, no obstante, no pasó de la fase de desarrollo[48], ya que algunos problemas mecánicos no contemplados (dilatación desigual, rozamientos, influencia de los movimientos del barco) impedían que se pudiera contar con un instrumento fiable. En definitiva, las exigencias de las demandas tecnológicas del transporte marítimo, lugar en el que los relojes precisos, portátiles y compactos podían resolver los problemas de localización de los barcos, impidieron que se convirtiera en una innovación.

Para contar con una vinculación estrecha de la ciencia con la tecnología hay que esperar al siglo XVIII y a los trabajos desarrollados en el seno de la química. Se trata del invento de una sustancia blanqueadora a partir del descubrimiento del gas cloro por K. W. Scheele en 1773. C. L. Berthellot, químico francés y director de la industria nacional del teñido, fue quien advirtió estas propiedades. Según Cardwell, difícilmente podría haberse llevado a cabo este descubrimiento y aplicación sin la activa participación de la ciencia[49].

¿Qué podemos decir de los elementos sociológicos y económicos, citados anteriormente, dentro de este contexto? Si se compara el siglo XIV y el XVII, algunos factores experimentan un cambio significativo, como la relajación en la influencia de las corporaciones gremiales, la convocatoria de diversos premios por parte de autoridades (por ejemplo, el de Felipe III relativo al cálculo de la longitud) e instituciones (por ejemplo, de la Academia de Ciencias de París para la obtención de sosa cáustica a partir de sal común) y la existencia de regulaciones para la concesión de privilegios y patentes. Pero estos están referidos exclusivamente a una de las fases, a la primera, y su influencia debe interpretarse como un marco sensiblemente más favorable a la realización de propuestas[50]. Para contar con un cuadro completo de la situación, no obstante, es preciso añadir elementos propios de las otras fases, como la disponibilidad de recursos, la rentabilidad, el grado de formación, la difusión de conocimientos científicos y técnicos y la adecuación a las demandas tecnológicas. Es muy probable que en este segundo grupo de requisitos, más decisivos que los anteriores, no se produjeran cambios similares en el siglo XVII, hecho que explicaría el relativo estancamiento tecnológico de este período, a pesar de ser el de la *Revolución Científica*. En general, su estudio es más significativo en épocas en vías de institucionalización, ya que en períodos posteriores, por ejemplo de finales del XIX o el XX, forman parte del programa de centros creados para desempeñar una función definida en el complejo científico-tecnológico-industrial[51].

Como ha podido comprobarse, en las distinciones anteriores se han hecho referencias a los elementos de tipo científico y a su lugar en el complejo tecnológico. Su presencia no obedece a una condición de necesidad, sino de posibilidad. Nada correspondiente a la acumulación de conocimiento científico precipita la resolución de forma inmediata y mecánica de un cambio tecnológico[52] (en contra esta vez de Gille y del determinismo científico[53]). Solamente a partir de las demandas específicas de la tecnología adquieren sentido las herramientas científicas. El error en las estimaciones históricas ha sido buscar en las iniciativas de algunos personajes, como Galileo, Huygens y Hooke, signos claros de la intervención de la ciencia en la tecnología de la época. En esta línea se plantean cuestiones falaces como, referidas esta vez a la Antigüedad: ¿cómo es posible que en Grecia no se produjeron cambios tecnológicos relevantes teniendo en cuenta los extraordinarios conocimientos de teoría física y mecánica de personas como Arquímedes, Herón, Ctesibio, Filón,...?[54] . Tanto en el mundo clásico como en el siglo XVII, los científicos aplicaban sus principios teóricos al estudio de la naturaleza, dentro de la cual se insertaban los sistemas mecánicos que atraían su interés por motivos más propios del desarrollo interno de la disciplina que de la práctica. Para encontrar las claves de una respuesta a esta conexión o desconexión ciencia-tecnología los interrogantes deben dirigirse hacia el sistema técnológico, ámbito del que también Gille nos ofrece algunas indicaciones, no al sistema científico. Dentro del primer marco, la atención debe centrarse en el "conjunto técnico"[55] , precisamente el resultado de la innovación, según se detalla en el cuadro anterior. Un conjunto técnico es un complejo fabril formado por la suma de diferentes técnicas. En palabras del propio Gille[56] :

"En efecto, hay técnicas complejas que requieren no lo que podría llamarse una técnica unitaria, sino técnicas confluyentes cuyo conjunto o combinación concurre a que se dé un acto técnico bien definido. Hemos tomado como ejemplo la fabricación de la fundición, de la que el esquema adjunto muestra toda la complejidad: problemas de energía, problemas de los componentes - mineral, combustible, insuflado de aire, problemas del instrumental mismo: el alto horno y sus propios problemas constitutivos (armazón, capas refractarias, formas). Trátase aquí de un conjunto cada parte del cual es indispensable para que se obtenga el resultado pretendido."

Muestra dependencias tanto del sistema económico (dimensiones de las empresas, costes de producción e inversiones, sistema de precios) como del social (cualificación de la mano de obra, facilidades u obstáculos de las comunidades para admitir las novedades) y el político (el Estado puede forzar un cambio del sistema económico para incorporar un sistema técnico determinado).

Pero junto a los elementos constitutivos del conjunto técnico, para contar con un cuadro completo de las demandas tecnológicas, hay que prestar atención al "límite del sistema técnico"[57] , así como a los otros elementos señalados en el apartado de la finalidad de las invenciones. Este se produce cuando hay dificutades para

aumentar las cantidades o para disminuir los costes de producción, cuando se agotan los recursos naturales (caso de la siderurgia inglesa del siglo XVII, cuando la falta de leña estuvo a punto de provocar su estrangulamiento, salvada en este caso por el descubrimiento del coque), o debido a restricciones energéticas. Tiene un carácter específico, limitado a una región o a un país y a los objetivos propuestos, y no es, por tanto, universal. Sobre la idea de "límite", el autor, como ejemplo, expone el caso de la máquina de vapor[58] :

"...la máquina de vapor clásica, alternativa, era relativamente rígida con respecto a una demanda variable. Hay, en fin, la delicada cuestión, que ha estado planteada durante siglos, del cómo transportar a distancia la energía. Aparte de estas consideraciones -que podrían ser numerosas, no abarcando nuestro muestreo, ni con mucho, todos los casos-, la concepción, la construcción, el rendimiento de la máquina de vapor clásica, es decir, siempre la máquina alternativa, hacían que forzosamente tuviera unos límites bastante estrechos. Tal máquina sólo podía convenir para potencias de cierta importancia, que no pasasen de los 5000 caballos; para potencias menores no era rentable, y para potencias mayores había imposiblidades técnicas."

Dentro de este contexto dinámico, formado por sistemas, límites y otros factores, es donde tienen sentido las contribuciones científicas. Para que se contemple la posiblidad de esta intervención el tecnólogo debe examinar su viabilidad, es decir, debe convencerse de que la ciencia ofrece una herramienta alternativa eficaz frente a otras existentes y que la técnica es capaz de responder a las indicaciones científicas, especialmente en las dos primera etapas, la de invención y la de desarrollo, señaladas anteriormente. También en este caso los factores sociológicos pueden desempeñar un papel importante. Así, la familiarización de artesanos, mecánicos y técnicos con los contenidos científicos a través de la educación, de las publicaciones (elementos que había destacado anteriormente Kuhn) o de conferencias públicas puede aumentar la confianza, aunque no determinar, su uso. La estabilidad de estas estructuras sociales y la especialización aseguran vías de comunicación entre la ciencia y la tecnología, factores que con algunas excepciones comenzamos a encontrar a partir de la segunda mitad del siglo XIX.

Resolución de problemas específicos y contribuciones científicas indirectas. En este caso no se plantean cambios tecnológicos, innovaciones, en el sentido definido anteriormente, ni sustituciones de sistemas técnicos. Se trata de aportaciones científicas que resuelven algunos desajustes de un conjunto técnico determinado[59] , proporcionan una vía de desarrollo más rentable en alguna de sus ramas o bien señalan límites en las posibilidades físicas de un artefacto (ley de Ohm en el caso de la tecnología de la iluminación o la teoría de Carnot en el caso de los motores térmicos[60]). También cabe incluir en esta sección la transferencia de ideales metodológicos desde la ciencia a la tecnología (la incorporación, por ejemplo, de

los ideales de precisión). Se ha señalado, en cuanto a esto último, que J. Watt aplicó no tanto los descubrimientos científicos del momento (en el terreno del calor específico) como su metodología, sobre todo en la etapa de desarrollo posterior a 1765 de la máquina de vapor[61] . En general, se trata de influencias más difusas y más complejas a la hora de documentar históricamente. En este caso es importante para determinar la probabilidad de su incorporación al sistema técnico, atender a cuestiones e información relativa a la formación de los técnicos y mecánicos, así como a la difusión y accesibilidad de conocimientos científicos (por ejemplo, es sabido que Watt estudió en Londres el oficio de constructor de instrumentos científicos, hecho que podía haber influido en la metodología que aplicó posteriormente).

"Por mucho que uno esté dispuesto a pagar por algo que cure el cáncer, no se lo puede obtener, a menos que el estado del arte, y quizás el estado de la ciencia, parezca estar en condiciones de hacerlo" [62] . Estas palabras de de S. Price, si bien contienen un significado más amplio en el contexto de su estudio, recogen de igual manera las ideas centrales que se han desarrollado a lo largo de este trabajo.

Es cierto que Merton no pretendió establecer un patrón universal de vinculación de la economía y la ciencia: su análisis vale sólo para el caso inglés. Así mismo debe reconocerse que reserva un cierto espacio para la investigación en el ámbito de la ciencia pura (en contra igualmente del determinismo económico). Sin embargo, como modelo posible para la comprensión de las relaciones ciencia-tecnología, aunque limitado al caso inglés, comprende aspectos discutibles, que pueden resumirse en una interpretación poco definida de dos principios: la orientación tecnológica de la ciencia y la relación directa de la ciencia con focos de interés económico. De acuerdo con Hall (cuyas críticas se asumen en este artículo), primero, la ciencia no puso de manifiesto utilidad alguna en el ámbito tecnológico a pesar de las promesas y de la retórica baconiana y, segundo, no hay nada que no pueda explicarse desde el desarrollo interno de la disciplina (afirmación que Kuhn restringe a las "ciencias clásicas").

Como se ha dicho, la relación entre la ciencia y la tecnología no es natural, sino que se establece o se produce siempre que se den unas condiciones. A lo largo de este trabajo, y especialmente en la tercera parte, se ha hecho referencia a los factores que desempeñan una función importante en la colaboración efectiva entre estos dos ámbitos.

En general, la ciencia del XVII mostró una notable fertilidad en el apartado de los inventos, de las propuestas, pero estos estaban aún muy lejos de convertirse en innovaciones tecnológicas, según las categorías empleadas anteriormente. El caso de Huygens y su modelo de reloj marino de péndulo es un ejemplo. Para que una ciencia sea efectiva debe insertarse no sólo en la fase inventiva, sino en la de desarrollo, e igualmente debe adaptarse a un marco de demandas tecnológicas y de viablidad técnica, además de contemplarse como una alternativa rentable (requisitos

comprendidos en la innovación). En este período, la ciencia contaba con un serio competidor dentro del mundo de la artesanía, cuyas soluciones eran más precisas y apropiadas, teniendo en cuenta las necesidades y los medios.

Merton concluye su estudio con la afirmación de que el 30,2% de las investigaciones estaban relacionadas directamente con los focos de interés económico y, por tanto, con la tecnología. En realidad, lo único que se pone de manifiesto es que en el catálogo de intereses de los científicos figuraban temas de relevancia socioeconómica. Pero esta limitación no debe conducirnos a desdeñar su estudio. Se trata de un elemento significativo para la comprensión de las relaciones ciencia-tecnología, aunque no es el único; es preciso, para comprender los períodos en los que estas entidades estaban en vías de institucionalización –concepto cuya relevancia debemos al estudio de Merton-, añadir otros, entre los que se encuentra el desarrollo interno de la propia ciencia y las condiciones contextuales que permitan una interacción estable, ámbito este último sobre el que la sociología puede aportar información esclarecedora.

NOTAS

[1.] Título original: "Science, Technology and Society in Seventeenth-Century England", en *Osiris: Studies on the History and Philosophy of Science, and on the History of Learning and Culture*, Brujas, The St. Catherine Press, 1938, IV, 2, pp.360-632. En 1970 se realizó una reedición, que añadía una introducción del autor y una "Bibliografía selecta"; la versión castellana de esta edición (Madrid, Alianza, 1984) es la empleada en este trabajo.

[2.] Por ejemplo, el conocido trabajo publicado en 1931 del director del Instituto de Física de Moscú, B. Hessen, que relaciona la obra de Newton con el contexto socioeconómico, titulado "The social and economic roots of Newton's Principia", en BUKHARIN, N. I *et al* (1971), *Science at the Cross Roads*, Londres (reedición de la obra publicada en 1931); su mayor influencia, dicho sea de paso, no se concentró en la antigua Unión Soviética sino en Inglaterra, entre los historiadores ubicados en la izquierda política como J. Needham, J. D. Bernal, etc. Otros precedentes, como el de E. Zilsel (véase, por ejemplo, "The Origins of William Gilbert's Scientific Method", en *The Social Origins of Modern Science*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2000) y G. N. Clark (*Science and Social Welfare in the Age of Newton*, Oxford, Clarendon Press, 1938) pueden consultarse en STORER, N. W., "Introducción", en MERTON, R. K. (1977), *La sociología de la ciencia,* Madrid, Alianza (ed. orig. de 1973), vol. I, pp.16-19; HAHN, R., "Nuevas tendencias en historia social de la ciencia", en LAFUENTE, A. y J. J. SALDAÑA, *Coords*. (1987), *Historia de las ciencias*, Madrid, CSIC, pp. 16-17; COHEN, I. B., "Impact of Merton Thesis", en COHEN, I. B., *ed*. (1990), *Puritanism and the Rise of Modern Science*, Londres, Rutgers, pp. 1-111, espec. pp. 4-9.

[3.] "Desafortunadamente esta parte del libro se ha mantenido en la sombra por seguidores y comentaristas, quienes más bien se han centrado en la idea más impactante, la referida a la influencia [en la ciencia] de la ética protestante", SZTOMPKA, P. (1986), *Robert K. Merton. An Intellectual Profile*, Londres, MacMillan, p. 69. Según el propio Merton: "Estimaría que nueve de cada diez discusiones del libro (registradas en la bibliografía de 1970) se han centrado sólo en una parte de él, la que trata de las relaciones entre el puritanismo y la institucionalización de la ciencia", MERTON (1984), *op.cit*, p. 14.

[4.] COHEN, I. B., (1988): "The Publication of Science, Technology and Society: Circumstances and Consequences",en *Isis,* 79, pp. 571-582; SHAPIN, S., (1988), "Understanding the Merton Thesis", *Isis*, 79, 594-605; GIERYN, T. F., 1988, "Distancing "Science from Religion in Seventeenth-Century England", en *Isis*, 79, pp. 582-593.

[5.] O. MAYR ("The Science-Technology Relationship as a Historiographic Problem", en *Technology and Culture*, 4, 1976, pp.663-673) describe los diferentes "modelos" o metáforas" empleadas en los análisis de las relaciones ciencia-tecnología (p. 666); de éstos aquí nos centraremos, por ser el que se acepta en la obra de Merton,

en el que establece vínculos jerárquicos entre estas dos entidades (conocido como "modelo lineal"), siendo la ciencia la que casi siempre desempeña el papel de iniciadora de las novedades tecnológicas.

[6.] *Science in History*, Londres, Watts, 1954 (versión castellana, *Historia social de la ciencia,* Barcelona, Península, 1967, basada en la edición de 1964).

[7.] YOUNG, R. M., "Marxism and the History of Science", en OLBY, R. C. *et al.* (1990), Eds:, *Companion to the History of Modern Science,* Londres, Routledge, pp. 77-86, p. 83.

[8.] Acerca del extraordinario desarrollo de la sociología de la ciencia en las últimas décadas, influida o no por Merton: "Bibliografía selecta: 1970", en MERTON, R. K. (1984): *op. cit.*, Madrid, Alianza, 1984 (trad. de la reedición de 1970), pp. 289-294; Barber, B., 1956, "The Sociology of Science. A trend Report and Bibliography", *Current Sociology,* V, nº 2; STORER, N. W., *op. cit*., pp. 13-38; HAHN, R., *op.cit*., pp. 13-23; SHAPIN, S., (1982), "History of Science and Its Sociological Reconstructions", *History of Science,* 20, pp.157-210; SOLÍS, C. (1994): *Razones e intereses. La historia de la ciencia después de Kuhn,* Barcelona, Paidós, pp. 265-272.

[9.] YOUNG, R. M. (1990), *op.cit*., p. 84.

[10.] Como producciones mentales, Merton identifica las siguientes: "las creencias morales, las ideologías, las ideas, las categorías de pensamiento, la filosofía, las creencias religiosas, las normas sociales, la ciencia positiva, la tecnología, etc,", y entre los aspectos que deben analizarse de estas, el autor señala: "su selección (focos de atención), nivel de abstracción, presupuestos (qué es lo que se toma como dato y qué como problemático), contenido conceptual, modelos de verificación, objetivos de la actividad intelectual, etc.", MERTON,R.K.I. *La sociología de la ciencia*, *op.cit*., vol. I, p. 52.

[11.] Esta idea, reconoce el autor, no es nueva, lo que ocurre es que no se han examinado suficientemente sus consecuencias. Para Merton, no se trata ni de una doctrina de los "factores" ni una versión del determinismo económico ni tecnológico, es decir, de factores universalmente dominantes, cfr. CTSI, *op.cit*, p. 12.

[12.] Véase "Social structure and Anomie", *Americal Sociological Review*, 5 (1938), pp. 672-682.

[13.] CTSI, pp. 225-226.

[14.] Más adelante, como ejemplo, se examina brevemente la aportación de Ch. Huygens en este ámbito.

[15.] Más adelante, como ejemplo, se examina brevemente la aportación de R. Hooke en este ámbito.

[16.] *Ibid*., p. 227.

[17.] *Ibid*.

[18.] *Ibid*., p. 225.

[19.] *Ibid*., p.15.

[20] *Ibid*., p. 80.

[21] "The Scholar and the Craftsman in the Scientific Revolution", en CLAGETT, M. (1959), Ed., *Critical Problems in the History of Science*, Madison, The University of Wisconsin Press, pp. 3-23; "Merton Revisited or Science and Society in Seventeenth Century", *History of Science: An Annual Review*, 2 (1963): pp 1-16; "Engineering and the Scientific Revolution", *Technology and Culture*, 2 (1961): 333-341; "Gunnery, Science, and the Royal Society", en BURKE, J. G. (1983), Ed., *The Uses of Science in the Age of Newton*, Berkeley, University of California, pp. 111-141.

[22] SZTOMPKA, P., *op.cit*., 36.

[23] Es autor de la obra clásica *The Scientific Revolution, 1500-1800* (Londres, Longman, 1954) y además es uno de los editores de A *History of Technology* (Oxford, Oxford University Press, 1955-1979, 6 vols.).

[24] "The Scholar..", *op.cit*., pp. 3-4; "Engineering...", *op.cit*., pp. 339.

[25] "The Scholar..", 15-16; en general, acerca de la actitud de los filósofos naturales hacia las artes mecánicas en la época estudiada, ROSSI, P. (1962), *I filosofi e le macchine: 1400-1700*, Milán, Feltrinelli (versión castellana, *Los filósofos y las máquinas*, Barcelona, Labor, 1970).

[26] "Engineering...", p. 336.

[27] *Ibid*., p. 337.

[28] "Gunnery...", *op.cit*., pp. 115-116.

[29] "Robert Hooke, Mechanical Technology, and Scientific Investigation", en BURKE, J. G., *Ed.,* pp. 85-110.

[30] Ideas a las que, en cambio, se aproxima B. Hessen con afirmaciones, repetidas a lo largo de su trabajo, del tipo "El bombeo de agua de las minas y el equipamiento con bombas, especialmente bombas de pistón, precisaba una considerable investigación en el ámbito de la hidro y la aeroestática. Consecuentemente, Torricelli, Herique [sic], y Pascal se dedicaron a estudiar el problema de la elevación de líquidos en tubos y el de la presión atmosférica", HESSEN, B. (1971), "The Social and Economic Roots of Newton´s 'Principia'", *Science at the Cross Roads*, Londres, Frank Cass (2ª ed., orig. 1931), p.161

[31] "Prefacio 1970", CTSI, *op.cit.*,15.

[32] MERTON, R. K, "Commentary on the Paper of Rupert Hall 'The Scholar and the Craftsman in the Scientific Revolution' ", en CLAGETT, M., Ed., *op.cit*., p. 28; "El [A. Hall] dice más adelante que 'es absurdo...suponer [como ejemplo] que la introducción de la pólvora y el cañón en la guerra fuera en cualquier sentido serio la causa del redescubrimiento del interés por la dinámica, y especialmente por el movimiento de los proyectiles, durante los siglos XVI y principios del XVII' ¿Pero quién ha afirmado que esta fuera 'la' causa, que este hecho aislado fuera suficiente para obtener los resultados observados?", *ibid*., p. 27.

[33] "History of Science", *International Encyclopedia of Social Sciences*, Nueva York, Crowell Collier y Macmillan, 1968, vol. XIV; versión castellana en *Tensión Esencial,* México, FCE, 1993, p. 142.
[34] Véase "Las relaciones entre la historia y la historia de la ciencia", *Tensión Esencial*, México, FCE, 1993 (orig. de 1971), pp. 165-167.
[35] "Merton Revisited", op. cit., p. 15.
[36] Barcelona, Crítica, 1999 (orig. 1978).
[37] Se siguen las conclusiones del artículo de ACEVEDO DÍAZ, J. A., 1998, "Análisis de algunos criterios para diferenciar entre ciencia y tecnología", *Enseñanza de las ciencias*, 16, pp. 409-420.
[38] Acerca de esta cuestión, MULTHAUF, R. P., (1959): "The Scientist and the 'Improver' of Technology", *Technology and Culture*, 1, pp. 38-47; LAYTON, E. T., Jr. (1974), "Technology as Knowledge", *Technology and Culture*, 15, pp. 31-41; FERGUSON, E.(1977), "The Mind's Eye: Non Verbal Thought in Technology", *Science,* 197, pp. 827-836.
[39] *La evolución de la tecnología,* Barcelona, Crítica, 1991 (orig. 1988), p.116.
[40] Que corresponden aproximadamente con los conceptos de "diseño", "fábrica" y "uso", MITCHAM, C. (1980), "Philosophy of Technology", *A Guide to the Culture of Science, Technology and Medicine*, Nueva York, The Free Press, pp. 308-309.
[41] Definidas como "un cuerpo de conocimientos que usa métodos experimentales sistemáticos similares a los de la ciencia pero centrados en el diseño, la construcción y el comportamiento de artefactos y sistemas tecnológicos. Una teoría tecnológica supone siempre una reflexión sobre la práctica tecnológica como mediadora entre ésta y las teorías científicas más abstractas", ACEVEDO, J. A., *op.cit*., p. 415.
[42] Aspecto estudiado en la obra clásica de Usher, P. A. (1954): *A history of mechanical invention,* Cambridge, Mass.
[43] Sobre este tema, CIPOLLA, C. M. (1972), "The diffusion of innovations in early modern Europe", *Comparative Studies in Society and History*, 14, pp. 46-52.
[44] Especialmente interesante aquí es el concepto de "pericia técnica" o "know-how", definido como los "procedimientos y técnicas específicas con instrumentos y máquinas acompañados de un conjunto de criterios pragmáticos basados, sobre todo, en un conocimiento tácito casi imposible de codificar", ACEVEDO, J. A., *op.cit.*, p. 415.
[45] Como ejemplo de estudio histórico en el que se aplican estos conceptos, SCHERER, F. M., "Invención-innovación en la aventura de la máquina de vapor Watt-Boulton", en KRANZBERG, M. y DAVENPORT, W. H., Eds. (1978), *Tecnología y cultura*, Barcelona, Gustavo Gili, pp. 249-271 (orig. en Technology and Culture, 6, 1965, pp.165-187).
[46] PACEY, A. (1980), *El laberinto del ingenio. Ideas e idealismo en el desarrollo de la tecnología,* Barcelona, Gustavo Gili (orig. 1974), p. 51.

[47] *Op.Cit.*, pp. 61-2; CIPOLLA, C. M. (1977): *Clocks and Culture (1300-1700),* Nueva York, Norton and Company, p. 44.

[48] Llegándose a emplear en una expedición a la costa de Guinea, sin embargo sólo parecía comportarse regularmente con el tiempo en calma, WOLF, CH. (1950): *History of Science, Technology, and Philosophy in the 16th and 17th Centuries*, Londres, George Allen & Unwin Ltd, 2 ª ed., p. 117.

[49] CARDWELL, D. S. L., "Science, Technology and Industry", en CARDWELL, *op.cit.*, p. 466. A esta misma categoría pertenecerían, según el autor, los tintes sintéticos (1856) y la bomba atómica (1945).

[50] Según cálculos de Samuel S. Sparks de 1869, recogidos por Basalla (*op.cit.*, p. 92) y corroborados en el presente, sólo el 10% de los inventos llegan a desarrollarse y emplearse.

[51] Un precedente significativo de esta interrelación es el descubrimiento del proceso Solvay (químico belga) para la producción de sosa a partir de amoniaco; en general sobre las relaciones entre química e industria, BROCK, W. H., "La química aplicada a los oficios y productos manufacturados", *Historia de la química*, Madrid, Alianza, 1998 (orig. 1992), pp. 239-272.

[52] Este no puede preverse a partir de la disposición de recursos científicos, las leyes que conectan la ciencia y la tecnología no se conocen y "no es inconcebible que durante largos períodos de tiempo los avances científicos tengan lugar en campos desprovistos de una utilidad inmediata, entendida en un sentido estrecho", según se reconoce en la obra de Jewkes, J. *Et Al.*, referida al siglo XIX, *The Sources of Invention,* Londres, Macmilan, 1969 (orig. 1958), p. 21.

[53] Véase Introduccción, *op.cit*., pp. 74-76.

[54] Un ejemplo de este planteamiento es MOKYR, J. (1993), *La palanca de la riqueza,* Madrid, Alianza (orig. 1990), pp. 37-50, espec. 38 y 40.

[55] Véase Gille, *op.cit*., pp.56-59.

[56] *Ibid.*, p. 46.

[57] *Ibid.*, pp. 61-70.

[58] *Ibid.*, p. 68.

[59] Como, por ejemplo, los estudios de W. Thomson (Lord Kelvin), llevados a cabo a mediados del XIX, relativos a la propagación de la electricidad a través de cables submarinos; véase SMITH, C. y NORTON WISE, N. (1984): *Energy and Empire. A Biographical Study of Lordon Kelvin,* Cambridge, Cambridge University Press, pp. 446-458.

[60] "Carnot está interesado por las leyes que gobiernan la producción de movimiento (trabajo) por el calor 'independientemente de cualquier mecanismo o de cualquier sustancia empleada'. El problema planteado por Carnot en sí mismo no es un problema tecnológico, aunque claramente es una cuestión que emerge del contexto de las máquinas de vapor. En este contexto, el conocimiento de cómo están relacionados el consumo y el resultado en una máquina de vapor es de vital

importancia. Pero Carnot interpreta esta cuestión al margen de su disposición tecnológica. Haciendo esto abandona el dominio de la tecnología y entra en el campo de la física", KROES, P., "Technology and Science-Based Heuristics", en PITT, J. C. *Ed*. (1995): *New Directions in the Philosophy of Technology*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, p. 29.

[61.] Véase SCHERER, *op.cit.*, 260-261.

[62.] PRICE, D. J. DE, "Ciencia y tecnología: distinciones e interrelaciones", BARNES, B. *Et Al*. (1980): *Estudios sobre sociología de la ciencia*, Madrid, Alianza, pp. 163-184, (orig. "The structure of publication in science and technology", W. GRUBER and G. MARQUIS (recs.), *Factors in the Transfer of Technology,* MIT Press, Mass., 1969).