

MODELOS DE RELACIONES ENTRE CIENCIA Y TECNOLOGÍA: UN ANÁLISIS SOCIAL E HISTÓRICO¹

José Antonio Acevedo Díaz

Consejería de Educación de la Junta de Andalucía.
Inspección de Educación. Delegación Provincial de Huelva.
E-mail: ja_acevedo@vodafone.es

[Recibido en Octubre de 2005, aceptado en Enero de 2006]

RESUMEN^(Inglés)

No hay duda de que vivimos en una sociedad cada vez más influida por la ciencia y la tecnología. Este artículo trata de los conceptos de ambas y sus relaciones mutuas. En la primera parte se hace una aproximación a los significados de la tecnología y la ciencia, que se discuten desde una perspectiva sistémica de sus respectivas prácticas, incluyendo en ellas, además de los aspectos técnicos, otros relacionados con lo social, lo cultural y lo personal. En la segunda parte del artículo se analizan con cierto detalle las complejas relaciones entre la ciencia y la tecnología mediante cinco modelos teóricos, los cuales se ilustran con diversos ejemplos históricos.

Palabras clave: tecnología, práctica tecnológica, ciencia, práctica científica, relaciones entre ciencia y tecnología.

"La ciencia moderna tiene poca importancia para la gran mayoría de las personas del mundo, incluso para las poblaciones de las naciones más avanzadas e industrializadas [...] La ciencia y su esfuerzo por hacer progresar el conocimiento teórico no tienen prácticamente efecto alguno en la gente corriente de cualquier sitio".

INTRODUCCIÓN

La declaración de la entradilla es deliberadamente provocativa y algo exagerada; fue hecha por Storer (1966, citado por Layton, 1988) para señalar que la tecnología ha sido responsable de muchas de las transformaciones sociales en mayor medida que la ciencia moderna. No obstante, cuatro décadas después, la percepción de la realidad a principios del siglo XXI parece dar en cierto modo la razón a Storer, pues hoy parece ser que vivimos más en el marco de una cultura tecnológica que en el de una cultura científica (Acevedo, 1997a). La vida cotidiana, en los medios urbano y rural, en el entorno del hogar y en el espacio laboral está repleta de productos e instrumentos tecnológicos –además de otras tecnologías organizativas y simbólicas–, cuyo uso no suele resultar demasiado complicado porque no precisa del conocimiento de los principios científicos o tecnológicos que los sostienen.

Ciertamente, la nuestra es una sociedad tecnológica que, muy probablemente, aún lo será más durante este siglo. La tecnología forma parte de nuestras vidas desde que nacemos hasta que morimos. La sociedad demanda más tecnología, unas veces para mejorar la calidad de vida y otras como consecuencia de un excesivo consumismo, pero también intenta controlarla mediante la política y los medios legales. A la vez, la tecnología influye mucho en los ciudadanos en la medida en que hacen uso de ella. Como resultado de la aceptación social, o de la imposición más o menos sutil, de ciertas tecnologías en vez de otras la sociedad también cambia profundamente, siendo moldeada por la tecnología.

Por otro lado, políticos, empresarios y ciudadanos, en general, tienden a dar valor a la ciencia sobre todo por su capacidad para resolver problemas y su utilidad social; esto es, dan más relevancia a su faceta instrumental y tecnológica. Así mismo, los criterios típicos de la racionalidad tecnológica (pragmatismo, utilidad...) están desplazando a otros más propios de la racionalidad científica (verosimilitud, explicación...).

No obstante, pese a su actual vigencia, el *status cultural* y académico de la tecnología continúa siendo inferior al de la ciencia (Gilbert, 1992; Layton, 1988). Por ejemplo, salvo por algunas brillantes excepciones, la técnica ha sido marginada por la filosofía en beneficio de la ciencia pura, si nos atenemos a la distinción artificial que hizo la filosofía positivista de la ciencia moderna en pura y aplicada. Medina (1989) atribuye este menor interés filosófico por la técnica al dogma cultural que sobrevalora el conocimiento teórico frente al saber ligado a las capacidades operativas propias de la técnica; supremacía racional y dogmática de la teoría que nació con el programa teoricista desarrollado en la filosofía helenística, el cual se extendió con rapidez desde lo epistemológico hasta lo ético y lo político (Luján 1989, Medina 1988). Platón estableció una distinción a favor del conocimiento teórico abstracto frente a la actividad manual basada en la práctica. Para Aristóteles, su discípulo predilecto, el conocimiento científico (*episteme*) era deseable por sí mismo, mientras que la técnica (*techne*) era sólo un medio para satisfacer las necesidades humanas.

Aunque en el siglo XVII Bacon defendió que el conocimiento para manipular las cosas materiales era más útil para el progreso social que el saber abstracto, el dogma teoricista siempre ha estado presente en la civilización occidental. A finales del siglo XIX, coincidiendo con la institucionalización profesional de la actividad científica, la ciencia moderna occidental se apropió de la tecnología, la subordinó a lo abstracto y la exhibió como muestra del éxito de la aplicación de los conocimientos científicos teóricos; esto es, como el resultado tangible de un conocimiento de orden superior. Se estableció así un modelo de dependencia jerárquica de la tecnología respecto a la ciencia pura; un modelo que permitía justificar las crecientes demandas de los científicos académicos a la sociedad de más fondos y recursos para poder llevar a cabo sus investigaciones (Layton, 1988).

En suma, la tensión entre el conocimiento teórico (ciencia) y el saber hacer ligado a la práctica (técnica) ha sido permanente a lo largo del tiempo, aunque decantándose casi siempre a favor del primero debido al mayor *status cultural* concedido a la ciencia en los ambientes académicos. Algunos historiadores de la ciencia también han contribuido a consolidar esta situación ignorando la historia de la tecnología, incluso distinguiendo

con ironía y desprecio entre la historia de *thinkers* –pensadores– y *tinkers* –mañosos y chapuceros– (Cardwell, 1994). Esta imagen se ha mantenido acríticamente hasta hoy, ocultando tanto las profundas relaciones que existen entre la tecnología y la ciencia contemporáneas como las interacciones entre la elaboración de las teorías científicas y los conocimientos producidos por las tecnologías.

Este artículo se ocupa de las relaciones mutuas entre la ciencia y la tecnología. En la primera parte se intenta hacer una aproximación a los significados de ambas nociones, que discuten desde una perspectiva sistémica de sus respectivas prácticas, incluyendo, además de los aspectos técnicos, otros relacionados con lo social, lo cultural y lo personal. En la segunda parte se analizan con cierto detalle las complejas relaciones entre la ciencia y la tecnología mediante cinco modelos teóricos propuestos por Niiniluoto (1997), los cuales se ilustran con diversos ejemplos históricos.

TECNOLOGÍA y PRÁCTICA TECNOLÓGICA

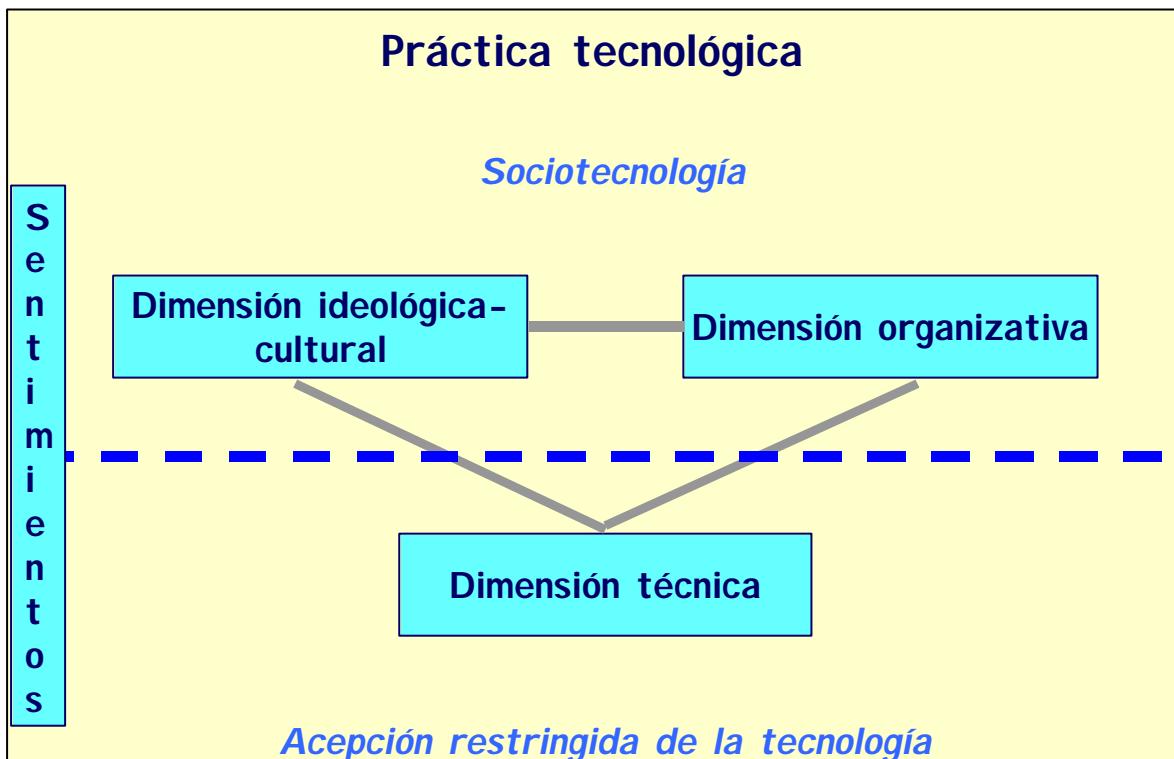
La noción de tecnología es poliédrica. Su significado ha ido cambiando a través de los tiempos y es plural en la vida cotidiana. Del sentido más estricto que tenía en los siglos XVIII y XIX se ha pasado hoy a interpretar la tecnología como un conjunto de herramientas, instrumentos, máquinas, organizaciones, métodos, técnicas, sistemas... (Osorio, 2002). Kline (1985) ha señalado diversos significados de la tecnología:

- El conjunto de productos artificiales fabricados por las personas (herramientas, instrumentos, máquinas, artefactos y todo tipo de sistemas).
- Los conocimientos técnicos, metodologías, capacidades y destrezas necesarias para poder diseñar y realizar las tareas productivas (actividades relacionadas con la pericia técnica, el saber hacer o *know-how*).
- Los recursos humanos y materiales del sistema sociotécnico de producción.
- El sistema sociotécnico necesario para el uso y mantenimiento de los productos fabricados, incluyendo los aspectos legales.

La mayoría de las personas suelen tener en cuenta las tres primeras acepciones del término, pero se olvidan de la importancia de la última. La primera de ellas, que es posiblemente la más arraigada entre la gente, corresponde a la tradicional imagen instrumental o artefactual de la tecnología procedente de la ingeniería, un punto de vista que aísla a los productos tecnológicos de su entramado social (González-García, López-Cerezo y Luján, 1996; Quintaniklokkolla, 1998).

Otras aproximaciones abordan la noción de tecnología como un sistema complejo, con una serie de componentes heterogéneos que se relacionan entre sí (instrumentos y artefactos técnicos, procesos de producción, control y mantenimiento, cuestiones organizativas, aspectos científicos, asuntos legales, recursos naturales y artificiales...), con las personas y el medio ambiente (González-García *et al.*, 1996; Hughes, 1983, 1987; Osorio, 2002; Pacey, 1983, 1999; Quintanilla 1988, 1998). Esta perspectiva sistémica es más completa y permite la apertura de la tecnología a la participación pública para su evaluación y control.

Hay diferentes enfoques de la tecnología desde un punto de vista sistémico, pero aquí solamente se prestará atención al que se centra en la actividad o práctica tecnológica (los procesos tecnológicos). Se puede obtener un significado bastante completo de la práctica tecnológica mediante la articulación sistémica de tres dimensiones: (i) *técnica*, (ii) *organizativa* y (iii) *ideológica-cultural* (Pacey, 1983), a las que habría que añadir una dimensión (iv) *afectiva* o *emotiva* (Pacey, 1999), que subyace a las anteriores y se refiere a los sentimientos derivados de la experiencia personal con la tecnología (véase la figura 1).



La dimensión técnica está asociada al significado más restringido de la tecnología, que es el más corriente. La dimensión organizativa incluye los aspectos sociales y políticos de mayor relieve, extendiendo así la noción de tecnología. La dimensión ideológica-cultural también amplía el concepto de tecnología al tomar en consideración los valores e ideologías que conforman una perspectiva cultural capaz de influir en la actividad creativa de los diseñadores e inventores tecnológicos. Conjuntamente, las dos últimas dimensiones constituyen el ámbito de la *sociotecnología*. Por otra parte, la dimensión afectiva compensa el excesivo énfasis puesto por los estudios sociales de la tecnología en lo comunitario frente a lo personal, incluyendo en éste el papel de lo emotivo y la axiología propia de cada individuo; esto es, los sentimientos y los valores personales sobre la tecnología. De este modo, el sentido social de la tecnología puede coexistir con las respuestas individuales (Osorio, 2002). Pacey (1983) propone que el análisis, la valoración y la gestión de la tecnología se hagan teniendo en cuenta todas estas dimensiones como un sistema, pues cambios en elementos de cualquiera de ellas pueden producir ajustes y modificaciones en los correspondientes a las otras. Una concepción de la tecnología restringida a su dimensión técnica daría respuestas

exclusivamente técnicas a los problemas tecnológicos de interés social. Sin embargo, muchas de las soluciones tecnológicas dependen en mayor grado de cambios en las dimensiones organizativa e ideológica-cultural. Esta otra manera de abordar los problemas tecnológicos que afectan a la sociedad podría favorecer más la participación social para su resolución, por lo que es probable que las soluciones aportadas lleguen a estar más de acuerdo con los deseos e intereses de los ciudadanos.

Algunos aspectos que describen cada una de las cuatro dimensiones de la práctica tecnológica se indican en la tabla 1.

Dimensión técnica	Dimensión organizativa
<ol style="list-style-type: none"> 1. Conocimientos disponibles. 2. Capacidades y destrezas necesarias. 3. Técnicas de fabricación y mantenimiento. 4. Recursos humanos, instalaciones... 5. Herramientas, instrumentos, máquinas... 6. Materias primas, recursos físicos, productos obtenidos, desechos y vertidos... 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Política tecnológica: planificación y gestión. 2. Mercado, economía e industria. 3. Sistema de representaciones en las comunidades de tecnólogos: médicos, ingenieros... 4. Sistema de relaciones entre agentes sociales: empresarios, sindicatos... 5. Actividad profesional productiva. 6. Distribución de productos tecnológicos. 7. Usuarios y consumidores de los productos tecnológicos.
Dimensión ideológica-cultural	Dimensión afectiva o emotiva
<ol style="list-style-type: none"> 1. Finalidades y objetivos de la tecnología. 2. Sistemas de valores y códigos éticos. 3. Creencias sobre la técnica y el progreso. 4. El papel de la creatividad en la tecnología. 5. Atención a la educación tecnológica. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Actitudes hacia la tecnología. 2. Emociones que provoca la tecnología. 3. Evaluación de la tecnología. 4. Participación ciudadana en las decisiones sobre asuntos tecnológicos de interés social.

Tabla 1.- Dimensiones de la práctica tecnológica.

CIENCIA Y PRÁCTICA CIENTÍFICA

Dar una definición de ciencia no es fácil porque, al igual que ocurre con la tecnología, puede significar diversas cosas. Por ejemplo, la ciencia puede entenderse como: (i) un proceso investigador sistemático y el conocimiento resultante del mismo, (ii) un cuerpo de conocimientos ordenados en principios, leyes y teorías que explica el mundo natural que nos rodea: materia, energía y vida..., (iii) una organización de personas (científicos) que tienen ideas y usan métodos y técnicas para desarrollar nuevos conocimientos, etc. Sin embargo, desde su nacimiento entre los siglos XVI y XVII, la ciencia moderna no se limitó solamente a sustituir las explicaciones teleológicas o finalistas de la ciencia helenista clásica (explicaciones del tipo *para qué*, relativas a los motivos y las intenciones) por explicaciones causales de la estructura del mundo

natural (explicaciones del tipo *por qué*). También tuvo un claro interés instrumental y de utilidad, por el que se pretendía encontrar las causas de los fenómenos naturales para controlar técnicamente su producción y conseguir así llegar a dominar la naturaleza.

La ciencia moderna se ha configurado como un conocimiento básico y sistemático del mundo natural para explicarlo y hacer mejores predicciones, pero también con la intención de transformarlo artificialmente. Esta finalidad instrumental implica no sólo la elaboración de representaciones del mundo natural, sino la intervención en el mismo (Hacking, 1983); un proceso en el que la ciencia adquiere algunos rasgos que suelen atribuirse específicamente a la tecnología. Este empeño queda muy claro en las obras de filósofos tan diferentes como Bacon –el gran propagandista de la ciencia moderna– y Descartes; obras en las que con frecuencia se afirma que verdad y utilidad son inseparables, como puede comprobarse en los siguientes párrafos:

"No hay para las ciencias otro objeto verdadero y legítimo que el de dotar a la vida humana de descubrimientos y recursos nuevos."

(Tomado de Bacon, 1979, p. 72 de la traducción castellana).

"Pues esas nociones [generales de la física] me han enseñado que es posible llegar a conocimientos muy útiles para la vida y que, en lugar de la filosofía especulativa enseñada en las escuelas, es posible encontrar una práctica por medio de la cual, conociendo la fuerza y las acciones del fuego, del agua, del aire, de los astros, de los cielos y de todos los demás cuerpos que nos rodean tan distintamente como conocemos los oficios varios de nuestros artesanos, podríamos aprovecharlos del mismo modo en todos los usos apropiados, y de esa suerte convertirnos como en dueños y poseedores de la naturaleza."

(Tomado de Descartes, 1979, pp. 117-118 de la traducción castellana).

Una mirada al pasado permite comprobar que los científicos se han relacionado en mayor o menor medida con el estado, el ejército, los empresarios y comerciantes en todas las épocas (Stewart, 1992). Desde sus orígenes la ciencia moderna tuvo el sentido de lo útil y gran interés por los asuntos tecnológicos¹, una vocación que se ha ido incrementado sin cesar desde la segunda mitad del siglo XIX y, sobre todo, desde que surgió en la escena la macrociencia (*big-science*)² en el XX.

La aparición de la macrociencia supuso un profundo cambio en la práctica científica, lo que la hace muy diferente de la ciencia realizada en los siglos anteriores (Acevedo,

¹ Son conocidas las implicaciones sociales, industriales y comerciales de afamados científicos en la ciudad de Londres durante los siglos XVII y XVIII, tales como Boyle, Hooke... (Stewart, 1997; Ziman, 1976), pero hay casos en todas las épocas. Así, en el XIX, Pasteur resolvió con éxito ciertos problemas de las industrias alimenticia y de la seda francesa, mientras que un físico teórico como Thomson (Lord Kelvin) se interesó por el cableado de la telegrafía transatlántica, entre otros muchos asuntos relacionados con la tecnología y la industria de la época (Pestre, 2000; Sánchez-Ron, 1992, 2000; Smith y Wise, 1989; Ziman, 1976). Ya en el XX, Marie Curie contribuyó decisivamente a poner en marcha los procesos industriales para fabricar y purificar muchas sustancias radiactivas, así como la instrumentación necesaria para ello. Además, bajo su dirección, el Instituto del Radio tuvo un decisivo papel en el desarrollo metrológico de la radiactividad para usos industriales y médicos, constituyéndose un servicio de medidas y control de los instrumentos que hizo del laboratorio de Curie el centro nacional de medidas oficioso que aún no existía en Francia (Boudia, 1997).

² En 1961, Alvin W. Weinberg introdujo un criterio económico que se usó como un estándar en EE.UU. para distinguir la macrociencia de otras modalidades de la ciencia: un proyecto puede considerarse macrocientífico cuando su realización requiere una parte significativa del producto interior bruto (PIB) de un país. Años después, en un Simposio organizado por la Universidad de Stanford en 1988, Bruce Hevly caracterizó la macrociencia por: (i) la concentración de recursos humanos y materiales en un número muy limitado de centros de investigación, (ii) la especialización del trabajo en los laboratorios y (iii) el desarrollo de proyectos científicos con relevancia política y social, que contribuyen a incrementar el poder militar, el potencial industrial, la salud o el prestigio nacional. Otros rasgos de la macrociencia reconocidos en ese mismo Simposio fueron: (iv) la interacción entre científicos, ingenieros, industriales y militares, (v) la politización y burocratización de la ciencia y la tecnología, (vi) la pérdida de autonomía de la ciencia, (vii) el alto riesgo de los impactos de la macrociencia... (Echeverría, 2003).

1997b; Echeverría, 2003). Según Sánchez-Ron (1992, 1995) sus orígenes pueden encontrarse en la década de los 30, en la que se desarrollaron y pusieron en marcha con éxito los primeros aceleradores de partículas elementales (ciclotrones) bajo la dirección de Ernest O. Lawrence en el *Radiation Laboratory*³ de la Universidad de Berkeley (California), un proyecto macrocientífico pionero que culminó en 1940 con el apoyo económico de la *Rockefeller Foundation* de EE.UU., muy interesada por las posibles aplicaciones biomédicas del ciclotrón. Sin embargo, es entre los años 40 y 50 cuando se consolida la macrociencia, coincidiendo con la implicación de la ciencia en la Segunda Guerra Mundial. El proyecto Manhattan (*Manhattan Engineer District*) para la fabricación de las primeras bombas atómicas en las instalaciones de Los Álamos es un caso paradigmático de macrociencia militarizada. Otro de gran importancia es el proyecto RADAR⁴ (*Radio Detection and Ranging*) del MIT (*Massachusetts Institute of Technology*). Más ejemplos de proyectos macrocientíficos son: el ENIAC (*Electronic Numerical Integrator and Computer*) de la Universidad de Pennsylvania (*Moore School of Electronics Engineering*) para hacer la primera computadora electrónica, el Hubble de la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) para construir el famoso telescopio espacial en el que también colaboró la ESA (*European Agency Space*), los correspondientes a la construcción de los gigantescos aceleradores de partículas europeos del CERN (*Centre Européen de Recherches Nucléaires*), etc. (Sánchez-Ron, 1992, 2000; Echeverría, 2003).

A la hora de definir la ciencia hoy, quizás sea mejor hacer más hincapié en el proceso que conduce a la generación de los resultados; es decir, en la actividad o práctica científica. Como en el caso de la práctica tecnológica, también se puede conseguir un significado adecuado de la práctica científica a partir de la articulación sistémica de sus dimensiones (i) *técnica*, (ii) *organizativa* y (iii) *ideológica-cultural* (Acevedo, 1997c, 1998a,b), más una dimensión (iv) *afectiva* o *emotiva*, que es subyacente a las anteriores, relativa a los sentimientos derivados de la experiencia personal con la ciencia (véase la figura 2).

La dimensión técnica define lo que habitualmente se entiende por práctica científica de una manera restrictiva. Al incluir lo social, lo cultural y lo ideológico, las dimensiones organizativa e ideológica-cultural permiten una ampliación del significado de la ciencia, que se conoce como el ámbito de la *sociociencia*. Por último, la dimensión afectiva compensa el énfasis puesto por los estudios sociales de la ciencia en lo comunitario frente a lo personal, incluyendo el papel de lo emotivo y la axiología propia de cada individuo; esto es, los sentimientos y los valores personales sobre la ciencia. De este modo, también en este caso las respuestas individuales pueden coexistir con el sentido social de la ciencia.

³ El laboratorio de Lawrence de la Universidad de Berkeley se parecía más a una factoría que a los típicos gabinetes de la ciencia académica.

⁴ Si la bomba atómica permitió terminar la Segunda Guerra Mundial, el radar ayudó decisivamente a ganarla. Aunque los primeros pasos se dieron en Gran Bretaña, su desarrollo se realizó en EE.UU., con la participación decisiva de los laboratorios de la *Bell Telephone* y la colaboración de conocidas empresas norteamericanas como *Westinghouse*, *General Electric*, *Sylvania* y *Du Pont*. La investigación del radar se llevó a cabo en el *Radiation Laboratory* (Rad Lab) del MIT y, además de su contribución militar, también favoreció el desarrollo de la física del estado sólido (semiconductores), que condujo al descubrimiento del transistor en los laboratorios de la *Bell Telephone* a finales de 1947 (Sánchez-Ron, 1992; Ziman, 1976).

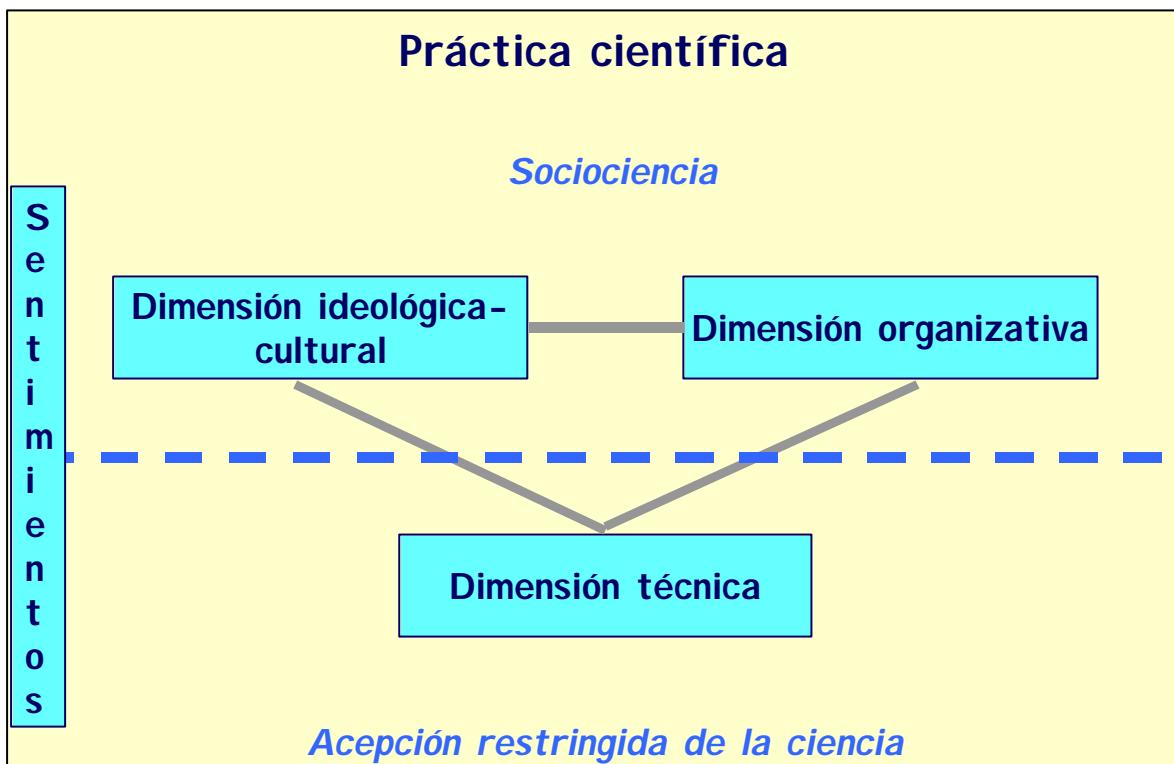


Figura 2.- Dimensiones de la práctica científica.

Algunos aspectos que permiten describir cada una de las cuatro dimensiones de la práctica científica se muestran en la tabla 2.

Dimensión técnica	Dimensión organizativa
<ol style="list-style-type: none"> 1. Conocimientos disponibles. 2. Capacidades y destrezas necesarias. 3. Métodos y procesos de investigación. 4. Recursos humanos, laboratorios... 5. Instrumentación científica y tecnológica. 6. Conocimientos producidos: ciencia privada y ciencia pública. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Política científica: planificación y gestión. 2. Fondos económicos y subvenciones a la investigación científica. 3. Sistema de recompensas en las comunidades de científicos: físicos, biólogos, químicos... 4. Relaciones entre grupos de investigación. 5. Actividad profesional investigadora. 6. Formas de difundir la ciencia: publicaciones, congresos... 7. Usuarios y consumidores de la ciencia.
Dimensión ideológica-cultural	Dimensión afectiva o emotiva
<ol style="list-style-type: none"> 1. Finalidades y objetivos de la ciencia. 2. Sistemas de valores y códigos éticos. 3. Creencias sobre la ciencia y el progreso. 4. El papel de la creatividad en la ciencia. 5. Atención a la educación científica. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Actitudes hacia la ciencia. 2. Emociones que provoca la ciencia. 3. Evaluación de la ciencia. 4. Participación ciudadana en las decisiones sobre asuntos científicos de interés social.

Tabla 2.- Dimensiones de la práctica científica.

MODELOS SOBRE LAS RELACIONES ENTRE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

El análisis de las relaciones entre la ciencia y la tecnología puede hacerse con detalle a partir de cinco modelos propuestos por Niiniluoto (1997). Los dos primeros sostienen posiciones ontológicas dualistas (independencia de la ciencia y la tecnología), mientras que los tres siguientes son monistas (véase la figura 3):

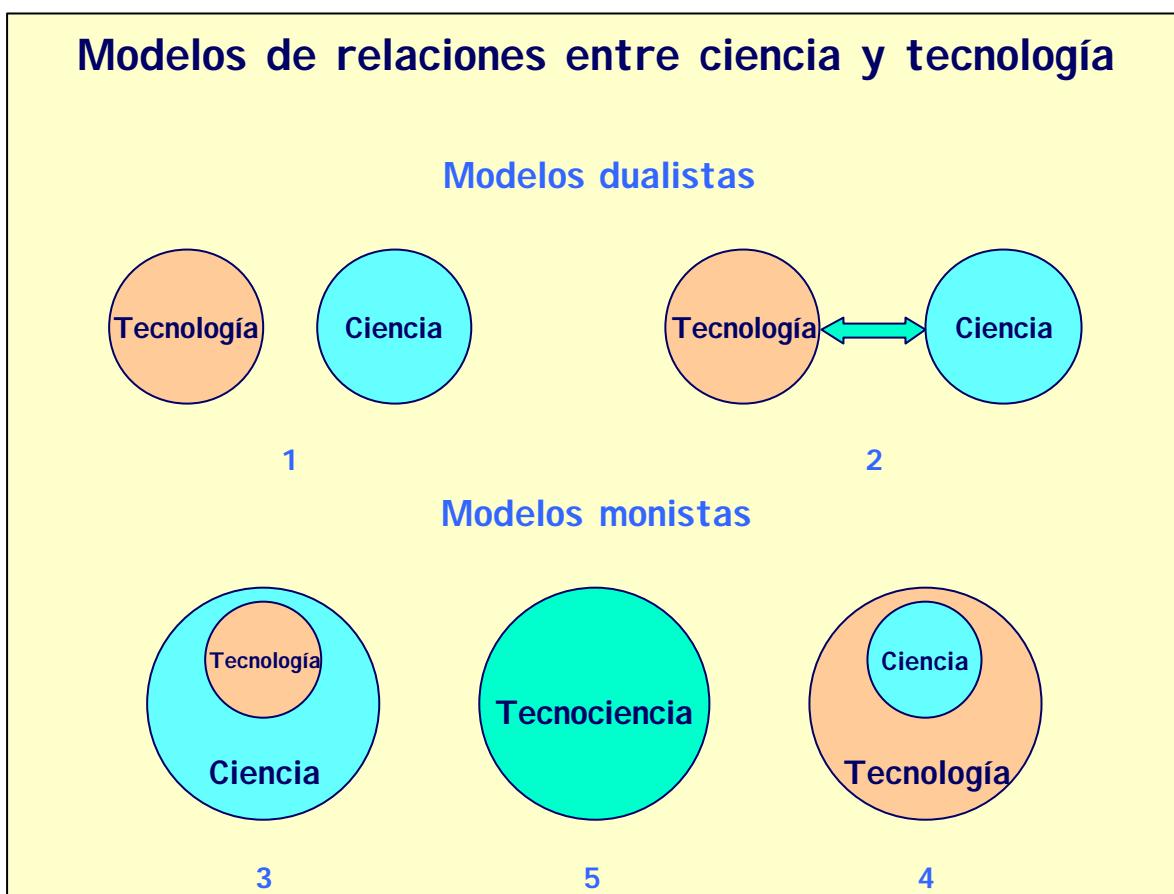


Figura 3.- Esquemas de cinco modelos de relaciones entre ciencia y tecnología.

1. La ciencia y la tecnología son independientes desde un punto de vista ontológico (cada una tiene su propia entidad). También son causalmente independientes o quasi-independientes.
2. La ciencia y la tecnología tienen independencia ontológica, pero hay interacción entre ambas.
3. La tecnología se subordina a la ciencia y puede reducirse a ella; depende, pues, de la ciencia desde una perspectiva ontológica.
4. La ciencia se subordina a la tecnología y puede reducirse a ella; es decir, tiene una dependencia ontológica de la tecnología.
5. La ciencia y la tecnología son la misma cosa (tecnociencia postmoderna); esto es, no se diferencian ontológicamente.

1. Independencia ontológica y causal entre ciencia y tecnología

En la antigua Grecia clásica la mayoría de los filósofos de la naturaleza se ocupaban de una ciencia teórica (*episteme*) sin una técnica empírica (*techne*) –Arquímedes fue una brillante excepción–; ambas eran, pues, ontológicamente y causalmente independientes. Sin embargo, es muy difícil apoyar esta tesis en la actualidad (Niiniluoto, 1997). Hace años, fue defendida con matices por De Solla Price (1965, 1972), el cual afirmó que la interacción entre ambas es más débil que la que suele darse entre las nuevas y viejas tecnologías. Basalla (1988) también sostiene que, en los aspectos fundamentales, la mayor parte de las novedades tecnológicas derivan evolutivamente de inventos anteriores, a pesar de que la conexión entre la ciencia y la tecnología contemporáneas sea muy importante en la mayoría de los casos.

Para ilustrar este modelo suele recurrirse a casos históricos como la primera revolución industrial que se produjo en Inglaterra a finales del siglo XVIII y cristalizó en las primeras décadas del XIX (minería, máquinas térmicas de Newcomen y Watt, telares mecánicos, metalurgia...), el rápido desarrollo industrial de EE.UU. durante el XIX y el de Japón en el XX. Ninguno se vio precedido por un incremento notable de la investigación científica en los campos afectados. Tampoco la tecnología militar dependió de la ciencia hasta finales del siglo XIX. En la misma línea, Staudenmaier (1985) ha mostrado que, incluso durante 1966, más del 90% de la investigación sobre los sistemas de armamento realizada en EE.UU. no fue representativa de un desarrollo tecnológico basado en la ciencia. Sin embargo, como contrapartida, pueden señalarse otros ejemplos de signo contrario, como el de Alemania en el XIX (desarrollo industrial derivado del electromagnetismo, industria de los tintes basada en la química orgánica, motores de combustión interna como consecuencia de la termodinámica...) y EE.UU. en el XX, donde la relación entre la ciencia y la tecnología ha sido mucho más intensa, especialmente desde la aparición de la macrociencia (incluyendo también la muy importante contribución de la ciencia al ejército).

2. Independencia ontológica e interacción causal entre ciencia y tecnología

Aunque la ciencia y la tecnología sean dos entidades independientes, las conexiones entre ambas –defendidas en la tesis de este modelo– han ido en rápido aumento desde el siglo XIX (Sánchez-Ron, 2004; Ziman, 1976). Una muestra de ello fue la creación en Alemania, durante 1887, del Instituto Imperial de Física y Tecnología⁵ (*Physikalisch-Technische Reichsanstalt*), conocido por su acrónimo en alemán PTR.

No obstante, hay cierta tendencia a mostrar tal interacción con un exagerado sesgo favorable al sentido que va desde la ciencia a la tecnología en detrimento del opuesto. Para ello, se recurre a diversos ejemplos de innovaciones tecnológicas basadas en la ciencia. Son paradigmáticos los desarrollos de las industrias electromagnética y de los tintes durante el último tercio del XIX, el de la ingeniería nuclear con fines militares y

⁵ El principal impulsor y responsable del diseño y la construcción del PTR fue Ernest Werner Siemens, ingeniero, inventor y empresario alemán en campos tecnológicos relacionados con la telegrafía, los sistemas de tracción eléctrica (v.g. el tranvía) y el alumbrado eléctrico. El imperio de Siemens llegó a dominar la industria de bajo voltaje –y compartirlo en la de alto voltaje– en la Alemania de la segunda mitad del XIX y se extendió también a otros países del mundo. Desde su inauguración, bajo la presidencia de Helmholtz, el PTR se centró sobre todo en la metrología, estableciendo unidades de medida más precisas y homologando especificaciones técnicas para instrumentos diversos. Esto favoreció la exportación de los productos alemanes, que se consideraban de gran calidad en todo el mundo. Además, el PTR también contribuyó al desarrollo de la física fundamental alemana de la época (Sánchez-Ron, 1992).

civiles para la producción de energía eléctrica en el XX y las aplicaciones médicas e industriales de la biología molecular y la ingeniería genética (biotecnologías), que aún están en pleno desarrollo con grandes expectativas en el siglo XXI (Ziman, 1984). Ahora bien, como contrapartida, tampoco debe olvidarse que la práctica científica está muy condicionada por la tecnología (Hacking, 1983; Ihde, 1997), así como que gran parte de la ciencia que se hace actualmente en todo el mundo responde sobre todo a prioridades tecnológicas civiles y militares (Acevedo, 1997b).

Es difícil encontrar hoy algún campo de conocimiento científico que no sea escrutado para determinar sus potenciales beneficios comerciales, por lo que todas las ciencias que aún no lo han hecho están en vía de dar lugar a sus correspondientes tecnologías. De este modo, se ha hecho posible, al menos en parte, el programa baconiano que estaba en el origen de la ciencia moderna. A la vez, en la actualidad todas las tecnologías también tienden a generar sus propias ciencias (Ziman, 1984).

Ciertamente, durante el siglo XX la práctica tecnológica se ha hecho mucho más científica, no sólo por los numerosos conocimientos que le ha proporcionado la ciencia, sino por haber incorporado a su práctica metodologías científicas más sistemáticas de un modo consciente y extendido⁶. Pero, al mismo tiempo, la práctica científica también depende cada vez más de las aportaciones de la tecnología: instrumentos y sistemas de precisión, nuevos problemas de investigación, métodos, conocimientos teóricos, conceptos y modelos que se usan como analogías y metáforas, etc. (Niiniluoto, 1997). Así mismo, la ciencia está cada vez más ligada a los intereses tecnológicos (Acevedo, 1997b), hasta el punto de que ha ido desplazando su modo de hacer y su organización desde los característicos de la ciencia académica hasta los más típicos de la ciencia realizada en los laboratorios industriales y gubernamentales (civiles y militares); de otro modo, la práctica científica también se ha hecho mucho más tecnológica.

3. La tecnología depende ontológicamente de la ciencia

La tercera posición proviene de la concepción estándar de la filosofía positivista que considera a la tecnología como ciencia aplicada (visión idealista de la tecnología); una tesis a la que algunos filósofos analíticos como Bunge (1966, 1969) contribuyeron, a mediados de los años 60, para dar los fundamentos de un paradigma de la filosofía de la tecnología que suele tener muy buena acogida entre los científicos (De Vries, 1996; Osorio, 2002; Quintanilla, 1998; Staudenmaier, 1985) y ha sido transmitido al público por famosos divulgadores de la ciencia como Isaac Asimov y Carl Sagan (González-García *et al.*, 1996).

La afirmación de que la tecnología no es más que la aplicación de la ciencia equivale a proclamar que el desarrollo tecnológico depende jerárquicamente de la investigación científica; esto es, que el conocimiento práctico se subordina al teórico (Sanmartín, 1990a). Esta forma de entender la relación de la tecnología con la ciencia subyace en el modelo de investigación y desarrollo (I+D) que ha dominado las políticas públicas de ciencia y tecnología durante gran parte del siglo XX (García-Palacios *et al.*, 2001).

⁶ En los primeros años del siglo XX, empresas de EE.UU. como la *General Electric* y la *American Telephone and Telegraph* (ATT) transformaron sus pequeños laboratorios para trabajos rutinarios en auténticos centros de I+D (Sánchez-Ron, 1992).

Esta tesis entra en serio conflicto con el hecho histórico de que la tecnología, como acción transformadora, es muchísimo más antigua que la ciencia (Gardner, 1997; Ihde, 1979, 1983). La habilidad técnica siempre representó una gran ventaja en la evolución humana, mientras que la capacidad para la ciencia tuvo menos importancia. La ciencia, como búsqueda sistemática de conocimiento, tuvo su origen en la Grecia Clásica, pero, tal y como se acepta comúnmente, es un fenómeno muy posterior, que puede datarse entre finales del XVI y comienzos del XVII⁷. La tecnología, como técnica científicamente fundamentada, es aún más reciente; hasta la segunda mitad del XIX la ciencia tuvo relativamente poco impacto sobre la tecnología. Por tanto, la tecnología en su conjunto no puede ser ontológicamente dependiente de la existencia de la ciencia, que comparada con la primera es casi una recién llegada a la cultura humana (Niiniluoto, 1997).

Como se ha expuesto más arriba, aunque en el siglo XX se han multiplicado las tecnologías basadas en la ciencia, la tecnología contemporánea no debe interpretarse como una simple muestra de la aplicación de los descubrimientos realizados por los científicos (Basalla, 1988), lo que puede entenderse mejor si se tiene en cuenta la existencia de teorías tecnológicas.

Puesto que la principal finalidad de los tecnólogos no es contribuir a la elaboración de cuerpos coherentes de conocimientos teóricos –para la tecnología éstos son un medio más que un fin (Acevedo, 1996; Fleming, 1989)–, no es de extrañar que para muchas personas la existencia de teorías tecnológicas⁸ no sea tan evidente como la de teorías científicas. No obstante, se han elaborado muchas teorías tecnológicas en medicina, agricultura, comunicación eléctrica, informática y, en general, en todas las ingenierías existentes; teorías que no son menos complejas que las que provienen de la ciencia. Además, algunas de ellas han contribuido en el pasado, y continúan haciéndolo hoy en buena medida, al desarrollo de las propias teorías científicas (Sanmartín, 1990b).

4. La ciencia depende ontológicamente de la tecnología

El cuarto punto de vista es opuesto al anterior y se apoya en el hecho de que la técnica precedió históricamente a la ciencia. Esta tesis, en la que las teorías científicas se contemplan como instrumentos conceptuales sofisticados de la práctica humana

⁷ Entre 1670 y 1870 la ciencia pasó de ser una vocación a ser una profesión, siendo William Whewell quien, en 1840, utilizó por primera vez la palabra científico en vez de filósofo natural para designar a quienes practicaban la ciencia (Ziman, 1976). Aunque ya estaba parcialmente organizada, a comienzos del siglo XIX la posición social de la ciencia era aún muy diferente de la que ha tenido después durante el siglo XX. Salvo por la existencia de unas cuantas academias e instituciones generalmente mantenidas por los diferentes Estados, un aspecto en el que Francia fue una adelantada en el XVIII, los científicos no solían disponer más que de sus propios medios y recursos. Como la conocemos hoy, la profesionalización de la ciencia comenzó a producirse en torno al último tercio del siglo XIX (Sánchez-Ron, 1992). De esa época son, por ejemplo, el *Laboratorio Cavendish* de la Universidad de Cambridge en Inglaterra (1874) y el *Instituto Pasteur* de Francia (1888), entre otros más. La ciencia tuvo una profunda académización durante el XIX en Alemania, donde se fomentó la investigación en equipo (*seminar*) o, como se diría actualmente, la constitución de grupos de investigación. Así, a partir de 1825 Liebig empeñó a crear una escuela de investigación química en la Universidad de Gressen, que tuvo una enorme importancia para la ciencia alemana. También se fundaron importantes instituciones profesionales de ciencia y tecnología en los países más avanzados, especialmente en Alemania, gracias sobre todo a los impulsos del electromagnetismo, junto a la electrotecnia industrial, y de la química orgánica relacionada con la industria de los tintes. En los años 80 del siglo XIX ya había algunas empresas alemanas y suizas que empleaban a científicos en sus laboratorios, en particular químicos, que no sólo realizaban análisis rutinarios sino que desarrollaban nuevos procesos y obtenían nuevos productos, comenzando así a surgir la ciencia industrial como una profesión atractiva para los científicos. No obstante, a finales del XIX, la investigación académica se encontraba todavía muy por delante de la investigación industrial, la cual lograría su pleno desarrollo durante el siglo XX, a partir de la primera guerra mundial en adelante, sobre todo en los EE.UU. (Ziman, 1976).

⁸ Las teorías tecnológicas están centradas en el diseño, la construcción, el comportamiento y la evaluación de artefactos y sistemas tecnológicos; esto es, suponen siempre una reflexión sobre la práctica tecnológica. Así mismo, el criterio de validez de una teoría tecnológica no es tanto que sea verdadera o verosímil (racionalidad científica) sino que funcione en la práctica y sea útil (racionalidad técnica).

(visión instrumentalista de la ciencia), ha sido defendida por Ihde (1983). Guarda relación con el punto de vista materialista de la tecnología propio de la dialéctica del pensamiento marxista, el cual afirma que la ciencia no es más que una forma intensificada de tecnología (Ihde, 1979). De otro modo, es una tesis asociada a las denominadas filosofías de la *praxis* (marxismo, pragmatismo...), que sostienen que la ciencia se mueve por intereses tecnológicos y se supedita a la razón técnica (Acevedo, 1997b). Desde esta perspectiva, la ciencia se considera también una dimensión más de los sistemas sociotecnológicos complejos (López-Devesa, 2001).

En una línea de pensamiento similar, Sanmartín (1987, 1990b) ha desarrollado un modelo de corte materialista, que pretende mostrar cómo influye la tecnología en la interpretación del mundo natural a través de la ciencia. Según este autor hay tres tipos de teorías científicas:

- Las que tratan de dilucidar las causas del éxito o el fracaso de ciertas técnicas precientíficas o tradiciones operativas⁹. Esta clase de teorías permite sustituir una técnica preteórica por una técnica teorizada, o bien una técnica teorizada por otra más elaborada. Así, en la base del edificio científico, los problemas que la ciencia intenta resolver caen dentro del ámbito de la técnica, si bien las respuestas que se dan son más de carácter explicativo (*por qué*) que comprensivo (*para qué*). Este primer grupo de teorías científicas son, pues, explicaciones tecnológicas de aspectos concretos del mundo.
- Teorías más generales, que nacen de la reflexión sobre ciertas tecnologías e intentan explicar por analogía cuestiones pertenecientes a otros campos de conocimiento¹⁰. Este proceso de extrapolación conceptual provoca cambios en el significado de los conceptos clave de una teoría científica o tecnológica al extenderlos más allá del contexto para el que fueron creados. De este modo, se contribuye al aumento de generalidad de las teorías científicas y a la unificación teórica (reducciónismo epistemológico).
- Paradigmas con enunciados de gran generalidad, que se elaboran como programas metafísicos de investigación para configurar una cosmovisión dominante durante un amplio período de tiempo¹¹. El contenido de un paradigma viene suministrado por teorías de los dos tipos anteriores que quedan incluidas en él.

⁹ Ejemplos concretos de este tipo de teorías son: (i) la teoría de Semmelweis del contagio de la fiebre puerperal por introducción de materia cadavérica en el torrente circulatorio sanguíneo de personas sanas, que explicaba bien el éxito de la costumbre de lavarse las manos y desinfectar el instrumental quirúrgico con una solución de cloruro de calcio después de haber practicado una autopsia o una biopsia (Alfonseca, 1996; Sanmartín, 1990b); (ii) la teoría de Pasteur de la fermentación por la actividad de microorganismos, que permitió explicar y resolver las dificultades para conservar y transportar a largas distancias la leche, la cerveza, el vino y el vinagre, pero también la preparación de ciertos alimentos como el pan, el yogur y la propia cerveza (Alfonseca, 1996; Sanmartín 1987); (iii) las reflexiones de Carnot (1987) sobre la potencia motriz del fuego, que son precursoras de la termodinámica (Odón, 1987; Wilson, 1981); (iv) la teorización matemática de ciertos procedimientos técnicos relativos a las comunicaciones eléctricas, que permitió el desarrollo de una teoría de la información (Aíbar, 1989), etc.

¹⁰ La teoría germinal de las enfermedades de Pasteur, por la que se atribuye las causas de estas enfermedades humanas a microorganismos patógenos (microbios), extraña algunas ideas de su primera teoría sobre los microorganismos (Alfonseca, 1996; Sanmartín, 1990b). Otros ejemplos lo proporcionan los intentos de extrapolación de la teoría de la información de Shannon y sus conceptos asociados (*v.g.*, la entropía informacional) a áreas de conocimiento muy diversos: física fundamental (mecánica estadística), biología (percepción de los seres vivos), lingüística (semántica), economía, teoría de la organización, ciencias cognitivas, inteligencia artificial... (Aíbar, 1989).

¹¹ Ejemplos de paradigmas de este tipo son: la mecánica newtoniana, la teoría de la evolución darwiniana, la teoría neodarwiniana (síntesis de los desarrollos mendelianos y la selección natural de Darwin)...

De este modo, durante el siglo XIX, algunos oficios antiguos generaron ciencias basadas en la técnica; por ejemplo, buena parte del desarrollo de la termodinámica se debe a la reflexión teórica sobre las máquinas de vapor que habían construido los técnicos ingleses del XVIII y la química orgánica industrial se potenció en parte por los intereses de los fabricantes de tintes. De manera similar, en el siglo XX, muchos conocimientos metalúrgicos se incorporaron a la ciencia de los materiales, pudiendo encontrarse más ejemplos parecidos en agricultura y medicina.

Aunque pueda resultar muy atractiva para algunas personas, la tesis instrumentalista de la ciencia sostenida en este modelo falla a la hora explicar el programa teoricista de la ciencia helenista clásica, que se desarrolló de modo independiente de cualquier actividad técnica o interés tecnológico (Niiniluoto, 1997).

5. Identidad ontológica entre ciencia y tecnología: tecnociencia

Puesto que el nacimiento y desarrollo de la tecnología y de la ciencia están excesivamente distanciados en el tiempo, la identidad ontológica entre ambas es imposible en sus orígenes. Pero hay una tesis que sostiene que la intensificación de las relaciones entre ambas a través de los tiempos ha conducido a su fusión como tecnociencia en la contemporaneidad (Niiniluoto, 1997). Si bien este término postmoderno fue introducido por Latour (1987, p. 29 de la traducción castellana) para su uso en la metodología de los estudios sociales sobre ciencia y tecnología, hoy está muy difundido en otros muchos ámbitos.

De manera general, puede decirse que la tecnociencia (el complejo sistema científico-tecnológico) designa el conjunto de actividades de investigación, desarrollo e innovación (I+D+I) en las que ciencia y tecnología están profundamente imbricadas y se refuerzan entre sí para conseguir un beneficio mutuo, tanto en sus procedimientos como en sus resultados.

La tecnociencia surge en el último cuarto del siglo XX por evolución de su precursora la macrociencia¹² y el impulso de algunas grandes empresas de EE.UU., habiéndose expandido luego con mucha rapidez por otros países desarrollados. Esta modalidad ha transformado profundamente la estructura de la práctica científica-tecnológica en todas sus dimensiones y también ha incorporado nuevos valores a la actividad científica¹³ (Ziman, 1984, 2000, 2003), incidiendo así profundamente en su axiología (Echeverría, 2003).

De este modo, el clásico *ethos* mertoniano de la ciencia (Merton, 1973), descrito por el esquema ideal: *communalism, universalism, disinterestedness, originality & scepticism*

¹² Aunque ambas tienen algunos rasgos comunes, también muestran ciertas diferencias. Así, mientras que en la macrociencia representó un importante papel la investigación básica, en la tecnociencia destaca sobre todo la instrumentalización del conocimiento científico para cumplir el objetivo prioritario de lograr innovaciones tecnocientíficas comercialmente rentables. Otras características distintivas de la tecnociencia son: (i) el predominio de la financiación privada sobre la pública en las actividades I+D+I, (ii) la menor importancia relativa del tamaño del proyecto y de los equipos e instrumentos, (iii) su carácter multinacional, (iv) la conexión en red de los laboratorios mediante el uso de tecnologías de la información y comunicación (TIC), (v) la pluralidad y diversidad de agentes tecnocientíficos... (Acevedo, 1997b; Echeverría, 2003).

¹³ Según Ziman (2003), una ciencia que no se limite a lo puramente instrumental debería ser: pública, universal, imaginativa, autocritica y desinteresada. Pero, esta lista de valores se encuentra en clara oposición con el modo en que la ciencia desarrolla habitualmente las funciones que los poderes sociales le demandan en la actualidad. En efecto, la tecnociencia que se practica hoy suele producir sobre todo un conocimiento que es: patentable, particular o local, prosaico, pragmático e interesado o parcial (sobre algunas de estas características del conocimiento tecnocientífico, véanse, v.g, los trabajos de Acevedo, 1997b; Ferné, 1989; Lewenstein, 1994; Primo, 1994; Sánchez-Ron, 2004).

(comunitarismo, universalismo, desinterés, escepticismo y originalidad) –CUDOS por su acrónimo en inglés o CUDEO en castellano–, es contrario al de la ciencia industrial, que es: *proprietary, local, authoritarian, commissioned & expert* (propietaria, local, autoritaria, servicial y experta) –PLACE por su acrónimo en inglés o PLASE en castellano– (Ziman, 2000). Como una muestra de ello, la mayoría de los científicos académicos que investigan hoy subvencionados por las empresas o las instituciones gubernamentales tienen que pedir autorización para publicar sus trabajos. Aunque se les permita hacerlo, el hecho de que tenga que ser con un permiso expreso está indicando que estos científicos ya no pueden seguir cumpliendo libremente con el ideal mertoniano del comunitarismo (Acevedo, 1997b).

Los intereses políticos y económicos están estableciendo hoy un nuevo marco¹⁴, que se caracteriza por la aparición de redes internacionales, con nuevas formas organizativas que controlan buena parte del conocimiento básico o esencial, así como la difusión de ideas y resultados en campos estratégicos de investigación punta (Acevedo, 1997b). Esta tendencia pone de manifiesto la aparición de nuevas relaciones entre la investigación básica realizada por la ciencia académica y la investigación tecnológica¹⁵. En suma, cada vez más los investigadores universitarios tienen como compañeros de viaje a políticos e industriales (Ferné, 1989).

A pesar de todo, aunque la tecnociencia ha ido aumentando desde los años 80, y sigue creciendo durante la primera década del siglo XXI, la ciencia que no sigue ese patrón aún se sigue practicando en buena medida y lo mismo puede decirse de la tecnología que no es tecnociencia, por lo que no parece adecuado identificar en todos los casos la ciencia contemporánea con la tecnología (Echeverría, 1999; Niiniluoto, 1997).

EPÍLOGO

Los ejemplos usados en este artículo para ilustrar los diferentes modelos sobre las relaciones entre la ciencia y la tecnología no dan una visión homogénea. A menudo sedan situaciones intermedias en las que la tecnología ha ejercido mayor o menor influencia en la evolución de la ciencia y viceversa. Así mismo, hay casos en los que la ciencia y la tecnología se han desarrollado de modo concertado y otros en los que se han comportado de manera bastante independiente (Ziman, 1976). De otra manera, los productos tecnológicos pueden haber seguido diversos procedimientos en su diseño y desarrollo, desde aquellos que no precisan tener demasiado en cuenta las

¹⁴ En un mundo en el que los negocios y el dinero representaban un valor material y cultural, durante los años 60 y 70, algunos científicos se decidieron a traspasar las fronteras académicas del mundo universitario de un modo mucho más radical que cuando, a finales del siglo XIX, empezaron a trabajar para laboratorios industriales, convirtiéndose ahora ellos mismos en empresarios (Sánchez-Ron, 2004). Por ejemplo, Shockley –uno de los descubridores del transistor en 1947 junto a Bardeen y Brattain en los laboratorios de la *Bell Telephone*– fundó en 1955 su propia compañía, el *Shockley Semiconductor Laboratory*. Animados por los políticos y los promotores industriales, más científicos han llegado a constituir sus propias empresas (Mustar, 1988), en las cuales se realiza al mismo tiempo la investigación y la comercialización de sus productos tecnológicos en áreas de investigación punteras, que han creado nuevos mercados en campos como la biotecnología, las telecomunicaciones, los nuevos materiales, la robótica, la inteligencia artificial, el *hardware* y el *software* científico... Así nació, por ejemplo, la ingeniería genética comercial en 1979, cuando una pequeña empresa de investigación en genética llamada *Genetech* sacó con gran éxito sus acciones al mercado (Acevedo, 1997b). En esta línea, resulta muy ilustrativo un ejemplo descrito por Sánchez-Ron (2004), correspondiente a la reciente historia de la ciencia de la década de los 90 del siglo XX. Se trata del caso del bioquímico estadounidense Craig Venter relacionado con la investigación del Proyecto Genoma, las patentes de genes y de secuencias de segmentos del genoma humano, las compañías de la industria biotecnológica, como *Celera Genomics*, y los aspectos éticos y demás valores implicados en estos asuntos.

¹⁵ Como consecuencia de ello, Ziman (2003) se refiere a una *ciencia postacadémica*, que es una especie de híbrido entre la ciencia académica y la ciencia industrial. Esta ciencia postacadémica es un componente más de la tecnociencia contemporánea.

teorías científicas más avanzadas hasta los que dependen en gran medida de éstas, pasando por los que combinan ambas vías (Basalla, 1988; De Vries, 1996).

Aunque algunos de los modelos mostrados pudieran parecer más satisfactorios que otros, quizás lo más prudente sea afirmar que ninguno de ellos es capaz de dar cuenta por sí mismo de las cambiantes relaciones entre la ciencia y la tecnología. La historia de la ciencia y de la tecnología es lo suficientemente rica y diversa como para poder resumir tales relaciones en un único modelo (Ziman, 1976). Por lo tanto, menos aún puede servir alguno de ellos para explicarlas adecuadamente en cualquier época, porque las relaciones no han sido siempre las mismas a lo largo de la historia (Gardner, 1997; Gilbert, 1992), habiendo cambiado también a través de los tiempos el ejercicio y la organización de las prácticas científica y tecnológica. Pese a todo, no parece que la ciencia y la tecnología sean una misma entidad, y tampoco que haya una relación causal directa y simple entre ambas.

Como afirma Richards (1983), aunque los canales de comunicación no sean del todo perfectos en su modo de operar, hoy suele darse un flujo de información en ambos sentidos entre la ciencia y la tecnología a través del continuo I+D (o al revés, D+I, como cada vez viene sucediendo más desde finales del siglo XX). Para esta nueva alianza entre la ciencia y la tecnología, podría pensarse ¿qué puede ser mejor que una tecnociencia? (Sánchez-Ron, 2004). Sin embargo, aunque la distinción entre la ciencia y la tecnología pueda ser mucho más difícil en el presente, aún es posible discernir entre ellas, incluso en aquellos casos donde ambas forman parte de un mismo proyecto. Como dice Niiniluoto (1997, p. 287): *'el día se distingue de la noche, aunque haya casos límite poco definidos (el anochecer)'*. Y podríamos añadir que también se muestra difuminado el amanecer.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO, J. A. (1996). La tecnología en las relaciones CTS. Una aproximación al tema. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 35-44.
- ACEVEDO, J. A. (1997a). Cómo puede contribuir la Historia de la Técnica y la Tecnología a la educación CTS. En R. Jiménez y A. Wamba (Eds.): *Avances en la Didáctica de las Ciencias Experimentales*, pp. 287-292. Huelva: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva. Publicada también con el título *¿Qué puede aportar la Historia de la Tecnología a la educación CTS?*, en *Sala de Lecturas CTS+I de la OEI*, 2001, <http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo3.htm>
- ACEVEDO, J. A. (1997b). ¿Publicar o patentar? Hacia una ciencia cada vez más ligada a la tecnología. *Revista Española de Física*, 11(2), 8-11. En *Sala de Lecturas CTS+I de la OEI*, 2001. <http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo4.htm>
- ACEVEDO, J. A. (1997c). La educación CTS en el Bachillerato LOGSE: la materia optativa "Ciencia, Técnica y Sociedad" en Andalucía. En R. Jiménez y A. Wamba (Eds.): *Avances en la Didáctica de las Ciencias Experimentales*, pp. 333-339. Huelva: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva. Publicada también con el título *La asignatura "Ciencia, Técnica y Sociedad" en la*

- Comunidad Autónoma de Andalucía, en *Sala de Lecturas CTS+I de la OEI*, 2001, <http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo7.htm>
- ACEVEDO, J. A. (1998a). Análisis de algunos criterios para diferenciar entre ciencia y tecnología. *Enseñanza de las ciencias*, 16(3), 409-420. En <http://www.bib.uab.es/pub/ensenanzadelasciencias/02124521v16n3p409.pdf>.
- ACEVEDO, J. A. (1998b). Tres criterios para diferenciar entre ciencia y tecnología. En E. Banet y A. de Pro (Eds.): *Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias*. Vol I, pp. 7-16. Murcia: DM. En *Sala de Lecturas CTS+I de la OEI*, 2002, <http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo12.htm>
- AIBAR, E. (1989). Técnicas, teorías y extrapolaciones: el caso de la teoría de la información. *Anthropos*, 94/95, 44-50.
- ALFONSECA, M. (1996). *Diccionario Espasa 1000 grandes científicos*. Madrid: Espasa Calpe.
- BACON, F. (1979). *Novum Organum*. Barcelona: Fontanella. [Original de 1620].
- BASALLA, G. (1988). *The evolution of technology*. Cambridge, MA: Cambridge University Press. Traducción de J. Vigil (1991): *La evolución de la tecnología*. Barcelona: Crítica.
- BOUDIA, S. (1997). El laboratorio Curie. En el corazón de una red de competencias. *Mundo científico*, 183, 845-849.
- BUNGE, M. (1966). Technology as applied science. *Technology and Culture*, 7(3), 329-347.
- BUNGE, M. (1969). *La investigación científica. Su estrategia y su filosofía*. Barcelona: Ariel.
- CARDWELL, D. (1994). *The Fontana History of Technology*. London: Harper Collins Publishers. Traducción castellana (1996): *Historia de la Tecnología*. Madrid: Alianza.
- CARNOT, S. (1987). *Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego y sobre las máquinas adecuadas para desarrollar esta potencia*. Madrid: Alianza [Original en francés de 1824].
- DESCARTES, R. (1979). *Discurso del método*. Madrid: Alianza. [Original de 1637].
- DE VRIES, M. J. (1996). Technology Education: Beyond the "Technology is Applied Science" Paradigm. *Journal of Technology Education*, 8(1), 7-15.
- ECHEVERRÍA, J. (1999). *Introducción a la metodología de la ciencia. La filosofía de la ciencia en el siglo XX*. Barcelona: Cátedra.
- ECHEVERRÍA, J. (2003). *La revolución tecnocientífica*. Madrid: FCE.
- FERNÉ, G. (1989). La ciencia una nueva mercancía. *Mundo científico*, 91, 564-571.
- FLEMING, R. W. (1989). Literacy for a technological age. *Science Education*, 73(4), 391-404.
- GARCÍA-PALACIOS, E. M., GONZÁLEZ-GALBARTE, J. C., LÓPEZ-CEREZO, J. A., LUJÁN, J. L., MARTÍN-GORDILLO, M., OSORIO, C. y VALDÉS, C. (2001). *Ciencia, Tecnología y Sociedad: una aproximación conceptual*. Madrid: OEI.
- GARDNER, P. L (1997). The roots of technology and science: a philosophical and historical view. *International Journal of Technology and Design Education*, 7(1-2), 13-20.
- GILBERT, J. K., (1992). The interface between science education and technology education. *International Journal of Science Education*, 14(5), 563-578.

- GONZÁLEZ-GARCÍA, M. I., LÓPEZ-CEREZO, J. A. y LUJÁN, J. L. (1996). *Ciencia, Tecnología y Sociedad. Una introducción al estudio social de la ciencia y la tecnología*. Madrid: Tecnos.
- HACKING, I. (1983). *Representing and Intervening*. Cambridge, MA: Cambridge University Press. Traducción de S. García (1996): *Representar e intervenir*. México DF: UNAM y Paidós.
- HUGHES, T. P. (1983). *Networks of Power: Electric supply systems in the US, England and Germany, 1880-1930*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press.
- HUGHES, T. P. (1987). The Evolution of Large Technological Systems. En W. E. Bijker, T. P. Hughes y T. Pinch (Eds.): *The Social Construction of Technological Systems: New directions in the Sociology and History of Technology*. Cambridge, MA: MIT Press.
- IHDE, D. (1979). *Technics and praxis. A philosophy of technology*. Dordrecht, The Netherlands: Reidel.
- IHDE, D. (1983). The historical-ontological priority of Technology over Science. En P. Durbin y F. Rapp (Eds.): *Philosophy and Technology*, pp. 235-252. Dordrecht, The Netherlands: Reidel.
- IHDE, D. (1997). The structure of technology knowledge. *International Journal of Technology and Design Education*, 7(1-2), 73-79.
- KLINE, S. J. (1985). What is technology? *Bulletin of Science, Technology, and Society*, 5(3), 215-218.
- LATOUR, B. (1987). *Science in Action. How to follow scientists and engineers through society*. Milton Keynes: Open University Press. Traducción de E. Aíbar, R. Méndez y E. Peñisio (1992): *Ciencia en acción. Cómo seguir a los científicos e ingenieros a través de la sociedad*. Barcelona: Labor.
- LAYTON, D. (1988). Revaluing the T in STS. *International Journal of Science Education*, 10(4), 367-378.
- LEWENSTEIN, B. V. (1994). La saga de la fusión fría. *Mundo científico*, 149, 718-723.
- LÓPEZ-DEVESA, E. J. (2001). ¿Tecnología y ciencia, o sólo tecnología? Hacia una comprensión de las relaciones ciencia-tecnología. *Argumentos de Razón Técnica*, 4, 195-218.
- LUJÁN, J. L. (1989). Tecnología, ciencia y sociedad: proceso a la epistemología popular. *Anthropos*, 94/95, 81-86.
- MEDINA, M. (1988). Extravíos racionales. *Anthropos*, 82/83, 62-69.
- MEDINA, M. (1989). Mito de la teoría y filosofía de la tecnología. *Anthropos*, 94/95, 35-39.
- MERTON, R. K. (1973). *The sociology of science. Theoretical and empirical investigations*. Chicago, IL: University of Chicago Press. Traducción de N. A. Míguez (1977): *La sociología de la ciencia. Investigaciones teóricas y empíricas*. Madrid: Alianza.
- MUSTAR, P. (1988). ¿Pueden los científicos convertirse en empresarios? *Mundo Científico*, 84, 980-983.
- NIINILUOTO, I. (1997). Ciencia frente a Tecnología: ¿Diferencia o identidad? *Arbor*, 620, 285-299.

- ODÓN, J. (1987). Introducción a la traducción castellana. En S. Carnot (1987): *Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego y sobre las máquinas adecuadas para desarrollar esta potencia*, pp. 9-32. Madrid: Alianza.
- OSORIO, C. (2002). Enfoques sobre la tecnología. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación*, 2, <http://www.campus-oei.org/revistactsi/numero2/osorio.htm>
- PACEY, A. (1983). *The Culture of Technology*. Cambridge, MA: MIT Press. Traducción de R. Ríos (1990): *La cultura de la Tecnología*. México DF: FCE.
- PACEY, A. (1999). *Meaning in Technology*. Cambridge, MA: MIT Press.
- PESTRE, D. (2000). Entre torre de marfil y Silicon Valley. *Mundo científico*, 209, 57-60.
- PRIMO, E. (1994). *Introducción a la investigación científica y tecnológica*. Madrid: Alianza.
- QUINTANILLA, M. A. (1988). *Tecnología: Un Enfoque Filosófico*. Madrid: Fundesco.
- QUINTANILLA, M. A. (1998). Técnica y cultura. *Teorema*, XVII/3, 49-69. En *Sala de Lecturas CTS+I de la OEI*, 2000. <http://www.campus-oei.org/salactsi/teorema03.htm> También en J. A. López-Cerezo, J. L. Luján y E. M. García-Palacios, Eds. (2001): *Filosofía de la Tecnología*, pp. 55-78. Madrid: OEI.
- RICHARDS, S. (1983). *Philosophy and Sociology of Science*. Oxford: Basil Blackwell. Traducción de H. Alemán (1987): *Filosofía y Sociología de la Ciencia*. México DF: Siglo XXI.
- SÁNCHEZ-RON, J. M. (1992). *El poder de la ciencia*. Madrid: Alianza.
- SÁNCHEZ-RON, J. M. (1995). *La ciencia, su estructura y su futuro*. Madrid: Debate.
- SÁNCHEZ-RON, J. M. (2000). *El siglo de la ciencia*. Madrid: Taurus.
- SÁNCHEZ-RON, J. M. (2004). Imagen pública e intereses privados. En F. J. Rubia, I. Fuentes y S. Casado, Coord. (2004): *Percepción social de la ciencia*, pp. 97-113. Madrid: Academia Europea de Ciencias y Artes (AECYA)/UNED Ediciones. En http://www.academia-europea.org/pdf/percepcion_social_de_la_ciencia.pdf.
- SANMARTÍN, J. (1987). *Los nuevos redentores. Reflexiones sobre la ingeniería genética, la sociobiología y el mundo feliz que nos prometen*. Barcelona: Anthropos.
- SANMARTÍN, J. (1990a). La ciencia descubre. La industria aplica. El hombre se conforma. Imperativo tecnológico y diseño social. En M. Medina y J. Sanmartín (Eds.): *Ciencia, Tecnología y Sociedad*, pp. 168-180. Barcelona: Anthropos.
- SANMARTÍN, J. (1990b). *Tecnología y futuro humano*. Barcelona: Anthropos.
- SOLLA PRICE, D. J. De (1965). Is Technology Historically Independent of Science? A Study in Statistical Historiography. *Technology and Culture*, 6, 553-568.
- SOLLA PRICE, D. J. De (1972). Science and technology: Distinctions and interrelationships. En R. Barnes (Ed.): *Sociology of science*, pp. 166-180. Harmondsworth: Penguin Books. Traducción de N. A. Míguez (1980): *Estudios sobre sociología de la ciencia*, pp. 163-177. Madrid: Alianza.
- SMITH, C. y WISE, N. (1989). *Energy and Empire, William Thomson, Lord Kelvin, 1824-1907*. Cambridge: Cambridge University Press.
- STAUDENMAIER, J. M. (1985). *Technology's Storytellers: Reweaving the Human Fabric*. Cambridge, MA: Society for the History of Technology & MIT Press.

- STEWART, L. (1992). *The Rise of Public Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- STEWART, L. (1997). La ciudad de Londres. El encuentro de la ciencia y el mercado. *Mundo científico*, 183, 810-815.
- STORER, N. W. (1966). *The Social System of Science*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- WILSON, S. S. (1981). Sadi Carnot. *Investigación y Ciencia*, 61, 107-116.
- ZIMAN, J. (1976). *The force of knowledge. The scientific dimension of society*. Cambridge: Cambridge University Press. Traducción de I. Cabrera (1980): *La fuerza del conocimiento. La dimensión científica de la sociedad*. Madrid: Alianza.
- ZIMAN, J. (1984). *An introduction to science studies. The philosophical and social aspects of science and technology*. Cambridge: Cambridge University Press. Traducción de J. Beltrán Ferrer (1986): *Introducción al estudio de las ciencias. Los aspectos filosóficos y sociales de la ciencia y la tecnología*. Barcelona: Ariel.
- ZIMAN, J. (2000). *Real science: What it is and what it means*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. Traducción de E. Pérez Sedeño y N. Galicia Pérez (2003): *¿Qué es la ciencia?* Madrid: Cambridge University Press.
- ZIMAN, J. (2003). Ciencia y sociedad civil. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 1(1), 177-188. Publicado también el mismo año en *Isegoría*, 28, 5-17.

SUMMARY

There is no doubt that we live in an increasingly influenced science and technology society. This paper shows the concepts of science and technology and the relationships between them. In the first part we make an approach to science and technology meanings, discussing them from a systemic perspective of their practices. Going beyond technical aspects we also include social, cultural and personal dimensions. In the second part we analysed with detail, the complex relationships between science and technology through five theoretical models, illustrated with several historic examples.

Key words: *Technological practice; scientific practice; relationships between science and technology.*

¹ En este artículo se desarrollan con más amplitud las principales ideas que expuse en una conferencia impartida el 7 de junio de 2005 en Puerto Real (Cádiz), debido a la invitación para participar como ponente en el V Encuentro de profesorado de ciencias y de tecnología: "Las relaciones ciencia-tecnología a debate", organizado por el Centro de Profesorado de Cádiz con la colaboración de la Asociación de Profesores y Amigos de la Ciencia "Eureka" y la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Cádiz. Mi agradecimiento a esas instituciones por la invitación al evento y a la Revista Eureka por la publicación del texto.