

## Las representaciones de la innovación tecnológica en perspectiva histórica

● RENATO GIANNETTI  
Universidad de Florencia

### Introducción

Este ensayo intenta ofrecer un breve cuadro sobre las formas de presentar la innovación tecnológica en la historiografía de los últimos quince o veinte años. El aspecto más relevante que caracteriza esta historiografía es la negación de un modo específicamente histórico de presentar el problema de la innovación. La argumentación, por lo general, se aborda en términos de analogía con lo que sucede, al mismo tiempo, en el campo más general de la filosofía y de la historia de la ciencia. Esta historiografía se caracteriza por el intento de integrar la tradición sistémica clásica<sup>1</sup>, con aquella otra que, en cambio, pone en el centro a los individuos y a los mecanismos de la consciencia y de la dinámica social<sup>2</sup>.

Una reseña sobre el tema de la innovación tecnológica en la historiografía puede ser, por lo tanto, reconducida sintéticamente a las dos formas de presentarla que han caracterizado la discusión sobre el método científico en el curso de los últimos veinte años. La primera está más vinculada a la tradición estructuralista y es la de los paradigmas tecnológicos y/o de los regímenes tecnológicos, que hace llegar a la innovación la idea kuhniana del cambio científico como sucesión de paradigmas. La segunda es la de la tecnología como construcción social. En este caso se hace llegar hasta la innovación tecnológica la consideración de que el cambio en las ideas científicas es un resultado social. Existen varios enfoques para los que la innovación es el fruto de procesos cognitivos en el interior de sistemas dinámicos que operan en el tiempo histórico (Callon, 1986).

1. La tradición sistémica clásica está representada en diversos campos por el materialismo histórico, el institucionalismo histórico weberiano, los análisis a la Durckheim de la división del trabajo y de la anomia de la sociedad desarrollada, e incluso por la economía clásica de Smith, Malthus, Mill o Jevons, el darwinismo, la tradición positiva desde Comte hasta Hempel y el estructuralismo lingüístico desde Mauss a Levi Strauss.

2. En esta tradición se encuentra el psicoanálisis, el pragmatismo de Henry James y Charles Pierce, la fenomenología de Husserl y Heidegger e incluso la más reciente tradición de la opción racional de Elster y John Roemer; también el estructuracionismo de Giddens y la teoría moral de la política y de la justicia de Rawls.

En cambio, una posición minoritaria parece mantener la defensa de la especificidad del método histórico, como es el caso de R.A. Buchanan (Buchanan, 1991), que retomaremos al final en relación a su polémica con los constructivistas.

Las teorías de la innovación tecnológica, en analogía a los cambios de paradigma científico, se hacen, por lo general, desde una caracterización evolutiva de la innovación tecnológica como factor de ruptura del equilibrio económico. El punto de partida lo encontramos en la obra de J.A. Schumpeter, que analizó el carácter innovador del comportamiento empresarial y propuso un modelo dinámico en el que el “*agire innovatio*” de los empresarios provoca en el sistema económico una “tempestad de destrucción creativa”. Las innovaciones dan lugar a un monopolio temporal para el innovador y con ello un beneficio diferencial que dura hasta que la innovación se ha difundido en el conjunto de la economía. Las propuestas más recientes añaden elementos a este modelo y consideran la innovación como el nacimiento y confirmación de un paradigma. Existe cierta variedad sobre la definición de los protagonistas y sobre la forma del movimiento: las empresas (Nelson y Winter, 1982) o las tecnologías (Mokyr, 1990); a lo largo de una trayectoria (Dosi, 1982) o un proceso estocástico (David, 1988); en ondas regulares (Schumpeter, 1939) o en racimo y estancamiento (Mokyr, 1990).

Todas las versiones aceptan la idea de que en el curso de su desarrollo las tecnologías mejoran y, a su vez, las relaciones de mercado se estabilizan, dando lugar a procesos de “*learning by doing*”. A través de estos procesos las tecnologías se hacen más eficientes y más adaptadas al mercado. Todas las versiones comparten, asimismo, la idea de que aquellos que introducen las innovaciones se comportan según determinadas estructuras conceptuales o paradigmas tecnológicos en la solución de los problemas (Hughes, 1983). De ahí deriva el carácter “*path dependent*” de las innovaciones tecnológicas: una vez puesta en marcha en una cierta dirección una tecnología continúa desarrollándose en la misma dirección (David, 1985). A nivel macro, esta noción la encontramos expresada con diversos términos: trayectorias naturales (Nelson y Winter, 1982, Dosi, 1982), regímenes tecnológicos (Sahal, 1981), sistemas tecnológicos (Hughes, 1983). En el nivel micro de un sistema tecnológico concreto las posibles alternativas se abandonan en beneficio de la que se ha puesto en marcha con una determinada dirección inicial, aunque pueden presentarse variaciones dentro de esa dirección. Es el caso, por ejemplo, del paradigma del motor de explosión enfrentado al motor de vapor, que convivieron, a finales del ochocientos, con similares oportunidades de desarrollo. Después de asentarse el motor de ciclo Otto, el paradigma del motor de vapor fue completamente abandonado. A su vez, dentro del paradigma del motor de explosión se han presentado nuevas variaciones, como, por ejemplo, el motor rotante Wankel. La selección del paradigma está vinculada al ambiente, e incluye el mercado, la intervención pública, las condiciones institucionales, etc.

El determinismo más o menos presente en la noción de paradigma —una vez ha tenido éxito— y la analogía física de “*momento*” en la tecnología, son objeto de crítica

en la segunda tradición investigadora que consideraremos, la constructivista. Ésta tiene un anclaje disciplinar en la sociología y en la historia social, más que en la teoría económica, como era el caso anterior. Lo que es distinto en esta tradición es el énfasis puesto en la identificación del protagonista del cambio. Éste puede ser una persona o un grupo social. Para comprender la forma de proceder de los protagonistas del cambio técnico es necesario definir sus objetivos e intereses. Los actores dan, de hecho, un significado a la tecnología; de ellos depende la dirección de las funciones que se desarrollan frente a aquellas posibles, o potenciales, como se verá más adelante en detalle a partir del ejemplo del desarrollo de la bicicleta. El actor busca influir sobre el desarrollo tecnológico de un *artefact* según estos fines. Si más actores, como casi siempre ocurre en la experiencia histórica, persiguen objetivos distintos, el *artefact* puede cambiar a partir de los mecanismos de interrelación, siguiendo un proceso tomado de los modelos cibernéticos y, más recientemente, de la teoría de los sistemas autoorganizativos. Callon (1986), por ejemplo, afirma que los actores deben definir los problemas a partir de una realidad y, para resolverlos, negocian con otros actores para llegar a un acuerdo sobre las líneas de desarrollo de la tecnología.

En las páginas que siguen se desarrollan más detalladamente las características de ambos enfoques, dando una cabida mayor a los casos históricos concretos presentados.

### **La innovación: paradigmas, trayectorias, regímenes tecnológicos**

El concepto de paradigma científico, aplicado por Kuhn en la descripción del desarrollo del conocimiento científico, ha sido utilizado por ciertos autores para explicar la dinámica de la innovación tecnológica. Nelson y Winter hablan de regímenes tecnológicos; Dosi usa el término de paradigma tecnológico, Sahal apela a los “*guideposts*”. Estas teorías se basan en la hipótesis de que la innovación depende de la aparición de nuevos principios tecnológicos, los cuales, asestando un corte al viejo sistema de conocimientos, dan vida a una nueva trayectoria de desarrollo. El avance en esta trayectoria hace posible innovaciones adicionales, esto es, perfeccionamientos y ajustes internos en el recorrido que, sumándose, dan garantías de continuidad al nuevo régimen o paradigma. Tal continuidad queda establecida al asentarse un sistema diferente de conocimientos, que sella el punto de ruptura de la vieja trayectoria y lleva a una nueva fase de progreso técnico.

La industria química, con el advenimiento de los colorantes y de los materiales sintéticos; o la electrónica, con la utilización de circuitos integrados en la fabricación de los semiconductores, ejemplifican claramente el paso de un régimen viejo o paradigma tecnológico a un nuevo camino de desarrollo basado en un sistema de conocimientos y oportunidades científicas radicalmente innovadoras.

Este modelo interpretativo tiene evidentes afinidades con las teorías al estilo Usher (1954). El concepto de acumulabilidad en el progreso técnico caracteriza, de hecho,

muchas contribuciones de este filón y ha sido utilizado, en particular por Nelson y Winter, para el estudio de las empresas en una perspectiva evolucionista. Ambos autores proponen una teoría de la empresa en la cual, en el interior de un modelo interpretativo formal, las empresas individuales actúan como jugadores en un juego evolutivo. Pasar del nivel formal a la realidad conlleva poner a la empresa en el centro de la dinámica del progreso técnico y considerarla el sujeto que promueve y sobre el que repercuten los efectos de tal dinámica. La empresa crea innovaciones a través de los propios laboratorios de investigación y se capitaliza en mayor o menor medida según sus dimensiones, su organización y las condiciones para aprovechar las innovaciones introducidas. El conjunto de conocimientos disponibles a los que una empresa puede recurrir en el curso de su desarrollo deriva de la producción de innovaciones, de los procesos de aprendizaje y de la estructura organizativa. Nelson y Winter definen las diversas formas organizativas en términos de “*routines*”, esto es, como respuestas de adaptabilidad que la empresa elabora para permanecer competitiva en el mercado y que deben ser modificadas cuando no garantizan el logro de los objetivos programados. En la adopción de determinadas estrategias de innovación, la empresa, finalmente, opera mediante un mecanismo de selección: una innovación se considera válida si satisface las necesidades de los potenciales usuarios, en base, por ejemplo, a criterios de beneficio de mercado. La propia estructura del mercado, según ambos autores, se configura como variable endógena del cambio tecnológico, porque se transforma a consecuencia de la evolución que siguen las empresas, derivada de la difusión de las innovaciones. No existen líneas evolutivas óptimas o formas de mercado en situación de garantizar un éxito, mientras la mayor o menor capacidad de innovación y las mejores condiciones de mercado dependan de la específica situación en la que se encuentra la empresa en el curso de su evolución.

Una perspectiva evolucionista, basada sobre analogías entre cambio tecnológico y evolución biológica, ha sido adoptada incluso por Mokyr (1990). Mientras que en Nelson y Winter el concepto de empresa se corresponde con el de una especie biológica, para Mokyr el equivalente económico viene dado por la técnica. El conjunto de los conocimientos necesarios para producir un bien o servicio de un modo específico tiene un carácter evolutivo: la idea relativa a cómo producir un determinado bien puede ser así asimilada al genotipo en biología, mientras que el fenotipo coincide con la técnica efectivamente utilizada por la empresa en la producción de dicho bien. Además, del mismo modo que el fenotipo de cada organismo deriva bien de su genotipo bien del ambiente, una técnica productiva se resiente o bien de la idea que la ha generado, o bien de las adaptaciones externas que debe realizar para ser utilizada económicamente. Por lo tanto, la innovación tecnológica, esto es, la creación de una nueva técnica, encuentra su equivalente en la vida de las especies; sería como la aparición de una nueva especie.

La analogía, continúa Mokyr, es incompleta y parcial, pero no invalida la utilidad de semejante modelo interpretativo. La originalidad de esta contribución consiste en la naturaleza epistemológica atribuida a la tecnología; al mismo nivel de la ciencia, de la cultura y del arte, la tecnología es algo que conocemos y el cambio tecnológico puede

considerarse como un conjunto de mutaciones en nuestro sistema de conocimientos. Las nuevas ideas, como las nuevas especies, logran sobrevivir y sustituir a las viejas ideas en la medida que están más adaptadas a satisfacer determinadas necesidades sociales y ello se realiza mediante un proceso de selección. La tecnología, sostiene dicho autor, es el resultado de una serie de informaciones que se adquieren a través del aprendizaje y la imitación. A diferencia de la evolución de tipo biológico, las innovaciones son cambios intencionales dirigidos hacia la solución de problemas; no constituyen una adaptación a las transformaciones ambientales, pero fácilmente modifican ellas mismas el medio. En analogía con la evolución de tipo biológico, por otra parte, el cambio innovativo depende del pasado; por consiguiente, se presenta como un fenómeno acumulativo y gradual.

Mokyr distingue, de hecho, los macroinventos, de número limitado y responsables de los momentos de ruptura de la evolución tecnológica, de los microinventos, más numerosos y garantes de la continuidad del proceso. Las grandes innovaciones y las innovaciones aumentativas están vinculadas con una relación de complementariedad y de reciprocidad: las primeras necesitan las segundas para adquirir funcionalidad; las segundas, sumándose, pueden a su vez generar una técnica completamente nueva. Por otra parte, así como las microinvenciones derivan de la investigación internacional, en cambio, las macroinvenciones tienen mayor dificultad para ser explicadas, porque parecen depender de variables no económicas que remiten a una mayor riqueza de estímulos observables en determinados contextos sociales y en determinados períodos históricos. Ejemplos de microinvenciones se encuentran en la evolución gradual de las técnicas, sean agrícolas, mineras o, en la construcción de nuevos tipos de navíos. Rosenberg (1976) reconduce estas innovaciones a formas de aprendizaje del tipo “*learning by doing*” y “*learning by using*”. En cambio, las macroinvenciones parecen depender de acontecimientos casuales, como evidencian numerosos ejemplos de inventores que han descubierto cualquier cosa radicalmente diferente de aquello que estaban buscando, o han llegado a conclusiones científicamente correctas a partir de premisas equivocadas. El descubrimiento de las anilinas por Perkin, mientras trataba de obtener quinina, o la invención del fonógrafo de Edison, cuando buscaba perfeccionar los registros de los impulsos telegráficos, ejemplifican la casualidad de grandes inventos. Tal casualidad no debe llevarnos, concluye Mokyr, a subestimar la importancia de determinantes sociales e históricos de las macroinvenciones. Grandes “acontecimientos” tecnológicos, como la Revolución Industrial, pueden explicarse, de hecho, sólo en relación al contexto en el cual se verificaron. Las grandes innovaciones son “semillas” lanzadas por inventores individuales en un “terreno” social, pero el terreno debe ser suficientemente fértil, socialmente estimulante, para poder garantizar buenos frutos, es decir, técnicas válidas.

### **La creación social de la innovación**

Los determinantes sociales del cambio tecnológico constituyen el objeto de una línea de investigación que aúna varias contribuciones y que consiste en un análisis de

tipo sociológico aplicado al estudio de la historia y de la evolución de las innovaciones en tecnología (Laudan, 1984). Esta perspectiva es el resultado de una discusión abierta en los años sesenta y setenta, cuando desde diversos lugares (para más detalle ver Staudenmaier, 1985) se puso en discusión la noción, entonces habitual en la historiografía, de innovación tecnológica como invención (en ciencia) aplicada (Rupert Hall, 1962-68). Layton, por ejemplo, subrayó que la innovación tecnológica parecía más bien el resultado de la "interacción" entre ciencia y tecnología, consideradas éstas como esferas del conocimiento separadas que influyen una sobre la otra mutuamente. La mayor parte de las contribuciones con esta orientación se referían al rol de los ingenieros en la actividad innovadora y a la importancia de la forma en que ellos se planteaban los problemas de la innovación tecnológica en contraste con los científicos. La contribución de Walter Vicenti sobre la historia de los ingenieros aeronáuticos americanos (Vicenti, 1990) es el más significativo ejemplo de esta tendencia. Vicenti considera la innovación tecnológica como la reconstrucción de procedimientos a través de los cuales los innovadores —en este caso los ingenieros— se plantean y resuelven los problemas. La metodología de Vicenti, que podríamos definir como "realismo ontológico", considera la producción de innovaciones tecnológicas como un proceso de aprendizaje social que permite a los hombres de una sociedad históricamente determinada construir los instrumentos para intervenir sobre la realidad externa. Un elemento esencial de este proceso es la constante verificación de la coherencia entre el proyecto y los resultados obtenidos, y por tanto de la eficacia de aquellos instrumentos al enfrentarse a las dificultades que la realidad muestra en la realización de los objetivos.

El mismo Vicenti ha aplicado recientemente la misma metodología en su investigación sobre el éxito del tren de aterrizaje retráctil en los aviones (Vicenti, 1994). Según Vicenti los historiadores de la aeronáutica tienden a considerar que la introducción del tren de aterrizaje era un paso obvio y previsible, sujeto exclusivamente a evaluaciones de la ingeniería. Sin embargo, la cuestión no es tanto si debía usarse el tren de aterrizaje retráctil para mejorar la aerodinámica de los aviones —lo cual era obvio—, como aplicar a este objetivo la mejor solución estructural y mecánica. Por ejemplo, un famoso avión, como el Northrop Alpha, mantuvo todavía mucho tiempo el tren de aterrizaje exterior por la dificultad de alojar las ruedas de las alas sin perjudicar la estructura multicelular en aluminio, que representaba una innovación radical tanto en términos de ligereza como de costes.

Los "social constructivists" han criticado a fondo esta posición. El centro de su crítica es que la innovación tecnológica, como cualquier otra actividad —incluida la actividad científica—, es una actividad práctica, localizada y de contexto que sólo en parte comprende elementos universales y cognitivos. Para ellos, el referente externo está absolutamente ausente y los conceptos de la tecnología (e incluso de la ciencia) se reducen a la esfera de las creencias sociales institucionalizadas. *Laboratory life* de Bruno Latour y Steve Woolgar (donde se reconstruye minuciosamente la actividad investigadora de un laboratorio industrial) es la primera investigación en esa dirección (La-

tour y Woolgar, 1979). Después han seguido otras, como la de Michael Lynch, que ha estudiado un laboratorio bioquímico (1985), la de David Turnball, que ha reconstruido la manera en la que un simple grupo de prácticos, privados de conocimientos en el campo de la mecánica y de las matemáticas avanzadas, construyeron las catedrales góticas (Turnball, 1993), y la de M. Hard, que ha investigado la construcción del motor Diesel por Cummins & Co., poniendo de relieve su carácter particular y contingente (Hard, 1993).

La referencia general para este punto de vista, definido incluso como etnográfico, es la epistemología constructivista. La innovación, en este caso, es considerada como un *artifact* técnico y se la relaciona con una acción que modifica el objeto y que a la vez lo construye a partir de las transformaciones introducidas por la acción. Es el sujeto que se prolonga en sus arneses, instrumentos y aparatos insertados en el objeto. Dentro del modelo interpretativo general se pueden individualizar tres aproximaciones diferentes. La primera se basa en la consideración de que los componentes físicos, los *artefacts*, del fenómeno tecnológico se prestan a un análisis de tipo sociológico no sólo en referencia a su uso, sino también por los aspectos técnicos en un sentido estricto. La segunda aproximación se basa en la consideración de la tecnología en términos de sistema, en el cual interaccionan componentes técnicos, sociales, económicos y políticos. La tercera y última aproximación representa una integración y un avance del modelo sistémico, por cuanto propone superar la diferenciación entre componentes humanos y naturales, considerando a ambos como elementos de una misma estructura de tipo reticular. El terreno común sobre el que se mueven y articulan estas tres claves de lectura del fenómeno tecnológico, finalmente, se basa en la identificación entre tecnología y sociedad, esto es, en el reconocimiento de que una misma estructura sostiene a ambos.

Dos elementos caracterizan la forma constructivista de abordar la innovación tecnológica. El primero, vinculado a los desarrollos recientes en el campo de la sociología del conocimiento científico, consiste en la tentativa de explicar en términos sociales la evolución de las ciencias. Se pueden distinguir tres niveles de análisis: un primer nivel, sobre la multiplicidad de las interpretaciones atribuibles a los descubrimientos científicos. Un segundo nivel, relativo a los mecanismos sociales que limitan la flexibilidad interpretativa y que ponen límite a las controversias sobre el valor de un descubrimiento. Un tercer y último nivel, tocante a los mecanismos de validación que operan del lado social en las confrontaciones de los conocimientos científicos.

El segundo elemento deriva del desarrollo en el campo de la sociología del fenómeno tecnológico. Está caracterizado por un modelo multidireccional aplicado a los procesos de desarrollo de los componentes físicos del progreso técnico, cuya evolución resulta de la alternancia continua de variantes y de opciones selectivas. Desde esta óptica, Pinch y Bijker reconstruyen, por ejemplo, la historia de la bicicleta. Ambos autores consideran la evolución de los diversos modelos de bicicleta como un desarrollo no lineal, en el que diversas variantes del *artifact* examinado resultan de opciones selectivas socialmente determinadas. Más concretamente, Pinch y Bijker hablan de gru-

pos sociales, grupos de individuos más o menos organizados para los cuales el *artefact* reviste el mismo significado y para quienes la percepción de un problema relativo a él requiere un mismo tipo de respuesta. En el caso de la bicicleta, un grupo social relevante está obviamente constituido por usuarios de tal medio. Es interesante, además, individualizar otros grupos sociales caracterizados por diversas exigencias que atribuyen significados diversos al objeto –bicicleta–: por ejemplo, las mujeres y aquellos que en el pasado se han opuesto a la difusión de las dos ruedas. Una vez identificados los grupos sociales relevantes es necesario analizar los problemas específicos de cada grupo en lo concerniente al *artefact*. Por lo tanto, para cada problema serán identificadas las diversas soluciones; y para cada solución, finalmente, las variantes que se derivan en la construcción de dicho *artefact*. En el caso de la bicicleta, los problemas que requieren soluciones diversas en base a grupos que las precisan son, por ejemplo, la mayor o menor velocidad del medio, los dispositivos de seguridad, el diseño y, para las mujeres, los prejuicios morales relativos al uso de vestidos, específicamente a la necesidad de ponerse pantalones. A la solución de los problemas sigue una última fase que los autores definen de estabilización, esto es, el final de las controversias procedentes de la percepción no homogénea del *artefact* por los diversos grupos sociales. Para Pinch y Bijker, las características físicas de la tecnología se construyen e interpretan en respuesta a determinantes de tipo social: no existe un único modo de realizar un *artefact*, o la solución óptima del mismo. Hay, en cambio, diversas formas de concebir e interpretar un objeto por grupos sociales específicos, con las consecuencias que se derivan en el diseño del objeto considerado. En el caso de la bicicleta, la introducción de la cámara de aire en 1890 ejemplifica muy bien la flexibilidad interpretativa entre los diversos constructores. Para algunos, ésta resolvía los problemas creados por las vibraciones; para otros, permitía una velocidad superior; para otro grupo, comprometía la seguridad del medio. Las diversas interpretaciones, por lo tanto, afectan al contenido del propio *artefact*. Los mecanismos sociales que llevan a la solución de las controversias científicas, corresponden en tecnología a la fase de estabilización de un *artefact*. Estos mecanismos se instauran en el momento en el que un problema no se discute. Un problema, pues, se presta a diversas soluciones en base a los múltiples significados sociales que un *artefact* puede asumir, y las diversas soluciones pueden incluso llevar a una redefinición del problema original. La introducción de la cámara de aire, por ejemplo, coincide con la fase de estabilización sólo para aquellos grupos sociales, como los usuarios de bicicletas deportivas, cuyo problema consistía en lograr mayor velocidad. Aunque presentado esquemáticamente, este modelo se caracteriza por una notable originalidad y conlleva cierta complejidad dada la importancia atribuida a una perspectiva integrada en la que se ponen de manifiesto las dicotomías entre sociología de la ciencia y sociología del fenómeno tecnológico, e incluso donde la diferenciación entre ciencia (invención) y tecnología (innovación) parece presentar un obstáculo en la comprensión de los problemas analizados.

Una versión más diluida de este punto de vista –pero asimilable metodológicamente a la vista anteriormente de Walter Vicenti– se debe a Thomas P. Hughes (1983),



que utiliza la noción de sistema socio-técnico para el estudio de la constitución de sistemas eléctricos en diversos países. Un sistema socio-técnico se configura como un sistema social complejo constituido por elementos físicos o técnicos –los *artefacts*– y por componentes organizativos, científicos y legislativos. Tales componentes interactúan y producen las características propias del sistema. La construcción de un sistema tecnológico está dirigida a la solución de los problemas a él pertinentes; el factor humano cumple la tarea de desarrollar las potencialidades virtuales, que también pueden fallar. La evolución de un sistema se articula en diversas fases, no necesariamente secuenciales, que toman el nombre de la actividad en ellas dominante: fase de la invención, del desarrollo, de la innovación, de la difusión y del crecimiento, de la competencia y de la consolidación. Cuando un sistema alcanza la madurez adquiere un determinado estilo y el recorrido evolutivo llega a una fase de estancamiento. Los problemas a resolver a lo largo del recorrido son de naturaleza diversa; en la invención y el desarrollo, el *problem-solving* depende de las decisiones de los empresarios inventores. Durante la innovación, la competencia y la fase de crecimiento, las opciones decisivas corresponden a empresarios gerentes. La etapa de consolidación y racionalización requieren la aportación de empresarios con competencias financieras y en ocasiones políticas; el papel de los empresarios inventores o de los empresarios gerenciales puede resultar crucial en la fase de difusión. Para explicar la dinámica del cambio tecnológico Hughes emplea, metafóricamente, los conceptos de saliente y entrante. Ellos mismos son componentes del sistema descrito, que se expande y progresa de forma irregular. Un saliente es una cuña en un frente que avanza. En el interior de un sistema tecnológico ésta se caracteriza por un conjunto de elementos dotados de mayor eficiencia y capacidad económica respecto a los demás componentes; es la punta avanzada que permite el crecimiento en el interior del sistema. Un entrante, por el contrario, se configura como un obstáculo en el trayecto evolutivo y se manifiesta con una ruptura en el equilibrio entre los diversos componentes en las fases de expansión; es una hendidura en el frente que avanza. La aparición de salientes o entrantes no depende de la voluntad humana. Son problemas que surgen en el curso de la actividad inventiva y de cuya solución depende el equilibrio coyuntural del sistema. En el modelo de Hughes la invención juega un doble papel: permite la corrección de un entrante, lo cual ocurre cuando un obstáculo es percibido como problema crítico y como tal se resuelve y, además, permite el avance de aquellas partes del sistema atrasadas respecto a un saliente. La simultaneidad de las invenciones o su aparición en “racimos” se explica por la concentración de investigación por parte de varios inventores en torno a la superación de un entrante, o bien, alrededor de un saliente que se ha identificado en un sistema dado.

Hughes ofrece numerosos ejemplos que aclaran los conceptos y la terminología empleada en el modelo interpretativo aquí descrito. A finales del siglo XIX, la introducción del turbogenerador representa un saliente en relación a los sistemas en aquel momento existentes para generar electricidad. La potencia de estos nuevos motores, de hecho, volvió insuficiente la capacidad de distribución y transmisión de las estacio-

nes centrales. En el período de entreguerras, el desarrollo de los motores de combustión interna de alta compresión encontró una aplicación extensa cuando se logró obtener gasolina de elevada calidad; la gasolina de calidad inferior constituía, en este caso, un entrante. Volviendo al siglo XIX, el descubrimiento de un medio innovador para la transmisión de la electricidad provocó una cuña en el sistema y la necesidad de un realineamiento de todos los otros componentes. Entre los entrantes, para Hughes, también se pueden considerar las escasas prestaciones de los receptores en los primeros sistemas de transmisión sin hilos; el funcionamiento defectuoso de las brújulas magnéticas sobre los primeros barcos de hierro; la limitada capacidad de los primeros motores eléctricos empleados en los sistemas de corriente eléctrica; y, por lo general, todos aquellos componentes escasamente eficientes que obstaculizan la expansión equilibrada en el interior de un sistema. Los inventos, concluye Hughes, deben ser considerados en su desarrollo acumulativo y la tarea de los historiadores consiste en el análisis de la evolución de los diversos sistemas tecnológicos, evolución que se realiza a través de los propios inventos.

El tercer modelo interpretativo constructivista se ha utilizado en diversos *case studies*, por ejemplo, el avión inglés TSR-2 (Law, 1987), el Concorde (Feldman, 1985), el proyecto de automóvil eléctrico desarrollado por *Electricité de France* (Callon 1986). La tesis de fondo planteada es que el estudio de la tecnología se puede transformar en un instrumento de investigación de tipo sociológico. Callon, de hecho, sostiene que los técnicos que desarrollan una tecnología innovadora y proceden a su aplicación cumplen un papel cuyo análisis entra en el campo de los estudios sociológicos. Para demostrar la capacidad de los innovadores de asumir comportamientos que pertenecen al estudio de la dinámica social, el autor describe la introducción del automóvil eléctrico en Francia (1986). El primer proyecto de 1973 se elaboró por un grupo de ingenieros de la empresa *Electricité de France*, el ente público eléctrico francés. Este proyecto se caracterizaba no tanto por su lado técnico —descripción detallada del nuevo tipo de vehículo—, sino por la descripción detallada del nuevo tipo de sociedad en la que el automóvil eléctrico debería haber funcionado. A partir del análisis de la sociedad francesa contemporánea, los ingenieros de la E.D.F. señalaban a los vehículos de tipo tradicional como los mayores responsables de problemas técnicos, tales como la contaminación atmosférica y acústica, y de problemas más específicamente sociales, como sería la práctica de identificar la pertenencia a una clase según los diversos estilos de consumo, en este caso a partir de la posesión de determinados automóviles. Al análisis inicial le seguía un elenco articulado y detallado a varios niveles que presuponían una nueva organización social con todos sus componentes: desde los acumuladores necesarios para el funcionamiento del coche eléctrico, pasando por el papel de los constructores interesados en las diversas fases de proyección y desarrollo, hasta el tipo de apoyo gubernamental necesario para la creación de un mercado radicalmente nuevo como respuesta a las nuevas exigencias de los usuarios. Tales componentes no estaban especificados en orden jerárquico porque tenían la misma importancia para alcanzar el objetivo final. Acontecimientos posteriores llevaron al fracaso del proyecto elaborado por los ingenieros de la E.D.F.

El proyecto descrito es analizado por el autor utilizando tres conceptos clave: la identidad técnico-sociológica de los promotores del plan; las *heterogeneous associations* responsables del éxito del plan; y el concepto de *actor network*, que sostiene y relaciona los dos primeros elementos del modelo. Con este último término Callon se refiere a una estructura o sistema reticular que comprende elementos heterogéneos, animados e inanimados, vinculados entre ellos por un determinado período de tiempo. Se trata de una estructura dinámica, en cuanto que los elementos que la componen son susceptibles de una continua redefinición de la propia identidad y de las relaciones mutuas. Los componentes de un *actor network*, además, están organizados en base a dos mecanismos: uno de simplificación, necesario para definir de manera exacta los diversos elementos haciendo abstracción de la complejidad del mundo real; otro de yuxtaposición, necesario para definir en modo igualmente exacto las relaciones entre los diversos elementos simplificados. Son estos dos mecanismos, sostiene Callon, los que aseguran la estabilidad en el conjunto de la estructura y hacen predecible su comportamiento. El modelo del cambio técnico en términos de red ha sido propuesto incluso para explicar la introducción de nuevos materiales basados en los polímeros, el Tenax que fracasó y el Twaron que, por el contrario, tuvo éxito (Mulder y Vergragt, 1990). Mulder utiliza con acierto la **lógica de la práctica** para explicar estos dos resultados. El momento inicial es, en primer lugar, la reconstrucción de los trabajos de los investigadores como individuos o grupos en términos de historia interna y características específicas (por ejemplo, hábitos locales y orientaciones globales) y de la regularidad de los comportamientos, observables *ex post*. Esto permite explicar el éxito o fracaso por la capacidad diferencial de crear una coalición eficiente para desarrollar una nueva tecnología en el interior y exterior de la empresa.

### Historia y basta

Las dos tradiciones de investigación que se han descrito brevemente se distinguen por el nivel de énfasis puesto en las motivaciones del sujeto. La tradición de los regímenes tecnológicos, relacionada especialmente con la teoría económica, atribuye la introducción de las innovaciones, sobre todo, a motivaciones económicas, si bien en algunos casos éstas son tomadas en un sentido lato, como en la teoría nelsoniana del comportamiento satisfactorio o en la *visible hand* (Chandler, 1977). En cambio, en las explicaciones de tipo cognitivista la inspiración es principalmente sociológica y tiende a valorar el papel de los intereses, de las posibilidades y de las motivaciones. Éstas últimas, además, se consideran irreducibles a un criterio únicamente económico, como demuestra, por ejemplo, el caso antes mencionado del desarrollo de fibras poliméricas por la casa Akzo.

Estas dos líneas de investigación ponen cierto énfasis en el hecho de que los procesos que conducen a la innovación son irreversibles y que, para su comprensión, es ne-

cesario reconstruir la historia. Para ambas, la descripción de la secuencia de los acontecimientos es considerada un componente esencial.

Sin embargo, otra línea de investigación, ciertamente menos utilizada que la constructivista, no está satisfecha con el papel asignado a la narración de los hechos, y reivindica su centralidad metodológica (Buchanan, 1991). El elemento principal de esta historiografía de la innovación es la centralidad del observador, el historiador, en la identificación del objeto de estudio. Las eventuales teorías o métodos se seleccionan sólo porque son consideradas apropiadas para el observador. Diversos observadores pueden tener diversos puntos de vista y diversos métodos. Si se trata de observar la introducción del galeón armado para el desarrollo del comercio transoceánico es superfluo intentar reconstruir "los actores" porque, de hecho, dadas las fuentes, es prácticamente imposible. En este caso no es posible proceder a rehacer parámetros eficaces. Es preferible, por lo tanto, limitar el objetivo de la investigación al uso de las técnicas habituales histórico-filológicas, más que aventurarse en conjeturas construidas por medio de las "empty conceptual boxes" con la que las ciencias sociales buscan reformular aquellos acontecimientos que los métodos tradicionales son capaces de abordar de forma completamente satisfactoria. En el caso de la innovación tecnológica, por ejemplo, es preferible empezar por una reconstrucción minuciosa y sólo posteriormente introducir las circunstancias de entorno que la determinaron en el contexto de su sociedad. Es ejemplar, en esta dirección, el modo de abordar los estudios que se ocupan de la innovación en la época medieval y moderna (por ejemplo, Lynn White, 1962; o, para el navío armado, Cipolla, 1971). En relación con el tema de las naves portuguesas, Buchanan acusa a Law (Law, 1987) de confundir más que aclarar los términos del problema por medio de una terminología abstrusa.

*Traducción al castellano de LLUÍS CASTAÑEDA*

## BIBLIOGRAFÍA

- BIJKER, W.E. y PINCH, T. (1987), "The Social Construction of Facts and Artefacts" en Bijker, Hughes y Pinch.
- BIJKER, W.E. HUGHES, T.P y PINCH, T. (1987), *The social Construction of Technological Systems*, Cambridge, M.I.T press.
- BUCHANAN, R. A. (1991), "Theory and Narrative in the History of Technology", *Technology and Culture*, 2, pp. 365-376.
- CALLON, M., LAW, J. y RIP, A. (1986), *Mapping the Dynamics of Science and Technology*, London, McMillan.
- CHANDLER., A.D. jr. (1977), *The Visible Hand; the Managerial Revolution in American Business*, Cambridge, Belknap Press.
- CIPOLLA, C. (1971), *Velieri e cannoni d'Europa nei mari del mondo*, Turín, UTET.

- DAVID, P. (1985), "Clio and the Economics of QWERTY", *American Economic Review. Papers and Proceedings*, 75.
- (1988), *Path-Dependence: putting the Past into the Future of Economics*, Technical Report, n.533, mimeo, Stanford University.
- (1989), *Computer and Dynamo: the Modern Productivity Paradox in a Not-too-Distant Mirror*, Center for Economic Policy Research, n.172, Stanford University.
- DAVID, P. y BUNN, J. (1988), "The Economics of Gateway Technologies and the Evolution of Network Industries: Lessons from Electricity Supply History", *Information Economics and Policy*, 4.
- DOSI, G. (1982), "Technological Paradigms and Technological Trajectories: A Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change", *Research Policy*, 11.
- (1990), *Technical Change and Industrial Transformation*, Londres, McMillan.
- EMERY, F. y TRIST, E. (1960), "Socio-technical Systems in Management Science. Models and Techniques", en Churchman, C.W y Verhulst, (eds), *Science, Models and Techniques*, Londres, Pergamon Press.
- FELDMAN, E. J. (1985), *Concorde and Dissent*, Cambridge, Cambridge de University Press.
- HARD, M. (1993), "Historians as Sociologists-Technicians as Practitioners: From Diesel to Bourdieu", paper presented at the conference "Technical Change", held in Oxford, September 8-11.
- HUGHES, T.P. (1983), *Networks of Power. Electrifications in Western Society, 1880-1930*, Baltimore, The Johns Hopkins Univ. Press.
- LATOUR, B. y WOOLGAR, S. (1979), *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts*, Londres, Sage.
- LAUDAN, R. (1984), "Cognitive Change in Science and Technology", en Laudan, R. (ed.), *The Nature of Technological Knowledge: Are Models of Scientific Change Relevant?*, Dordrecht, Reichter.
- LAYTON, E.T. jr. (1971), *The Revolt of Engineers: Social Responsibility and the American Engineering Profession*, Cleveland, Ohio Univ. Press.
- LAW, J. (1987), "Technology and Heterogeneous Engineering: The Case of Portuguese Expansion" en W.E. Bijken, T.P. Hughes y T. Pinch, pp. 111-134.
- LYNCH, M. (1985), *Art and Artefact in Laboratory Science: A Study of Shop Work and Shop Talk in a Research Laboratory*, Londres, Routledge y Kegan.
- LYNN WHITE, J. (1962), *Medieval Technology and Social Change*, Oxford, Clarendon Press.
- MOKYR, J. (1990), *The Lever of the Riches*, Oxford, Oxford University Press.
- MULDER, K.F. y VERGRAGT, P.J. (1990), "Synthetic Fibre Technology and Company Strategy", *R. y D. Management*, 20, 3, pp. 247-256.
- NELSON, R. y WINTER, S. (1977), "In Research of an Useful Theory of Innovation", *Research Policy*, 6.
- (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge, The Belknap Press of Harvard University Press.
- PIAGET, J. (1970), *L'épistemologie génétique*, Paris, P.U.F.

- ROSENBERG, N. (1976), *Perspectives on Technology*, Cambridge, Cambridge University Press.
- (1982), *Inside the Black Box: Technology and Economics*, Cambridge, Cambridge University Press.
- SAHAL, D. (1981), *Patterns of Technological Innovation*, Londres, Addison-Wesley.
- SAVIOTTI, P. y METCALFE, J. (eds.) (1991), *Evolutionary Theories of Economic and Technical Change: Present State and Future Prospects*, Londres, Harwood Publishers.
- SCHUMPETER, J.A., (1939), *Business Cycles. A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*. Mc Graw - Hill, New York and London, 2 vols.
- STAUDENMAIER, J.M. (1985), *Technology's Storytellers: Reweaving the Human Fabric*, Cambridge (Mass.), MIT. Press.
- TURNBALL, D. (1993), "The Ad Hoc Collective Work of Building Gothic Cathedrals with Templates, Sting and Geometry", *Science, Technology and Human Values*, 18, pp. 315-340.
- USHER, A.P. (1954), *A History of Mechanical Inventions*, New York, Revised edn. Cambridge, Harvard University Press.
- VICENTI, W.G. (1990), *What Engineers Know and How They Know It: Analytical Studies from Aeronautical History*, Baltimore, MD: The Johns Hopkins University Press.
- (1994), "The Retractable Airplane Landing Gear and the Northrop Anomaly: Variation-Selection and the Shaping of Technology", *Technology and Culture*, Vol 35, 1, pp. 1-33.



## *Technological innovation in historical perspective*

### ABSTRACT

*This essay reviews the recent research traditions on technological change in a historical perspective. We distinguish between two ways to conceptualize technical change. They can be reconducted to the current discussion on scientific method. The first one is close to the structuralist tradition and can be summarized under the technological paradigm tradition. This extends to technological change the Kuhnian view of scientific change as a sequence of paradigms. It includes Dosi's original technological trajectories and the milder Hughes socio-technical systems. The second tradition represents technical change as a social construction. This approach originally highlighted the procedures and determinants of scientists' behaviour and the limitations of the so-called scientific method. These developments gave greater emphasis to the sociology of technology and led scholars to emphasize the social construction of technologies, as f.e., in Callon.*

*These approaches can usefully converge in historical research if the sociological approach renounces to the extreme view of technology as a "rhetoric". In this sense we suggest that the empirical work of Vicenti and Constant goes on the right way.*

