

Actos, actores y artefactos

UNIVERSIDAD NACIONAL DE QUILMES

Rector  
Daniel Gomez

Vicerrector  
Jorge Flores

# Actos, actores y artefactos

## Sociología de la tecnología

Hernán Thomas, Alfonso Buch  
(coordinadores)

con la colaboración de  
Mariano Fressoli y Alberto Lalouf



Bernal, 2008

Colección "Ciencia, tecnología y sociedad"

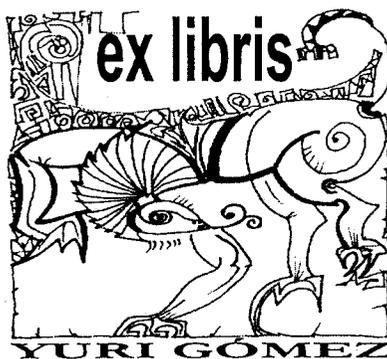
Dirigida por Pablo Kreimer

Actos, actores y artefactos : sociología de la tecnología /  
compilado por Hernán Thomas y Alfonso Buch. - 1a ed. -  
Bernal : Universidad Nacional de Quilmes, 2008.  
296 p. : il. ; 20x15 cm. - (Ciencia, tecnología y sociedad /  
Pablo Kreimer)

ISBN 978-987-558-148-7

1. Sociología de la Tecnología. I. Thomas, Hernán, comp. II.  
Buch, Alfonso, comp. III. Título  
CDD 306.46

© Universidad Nacional de Quilmes, 2008  
Roque Sáenz Peña 352  
(B1876BXD) Bernal  
Buenos Aires  
<http://www.unq.edu.ar>  
[editorial@unq.edu.ar](mailto:editorial@unq.edu.ar)



Diseño de tapa: Hernán Morfese

ISBN: 978-987-558-148-7

Queda hecho el depósito que marca la ley 11.723

## Índice

Introducción, <i>Hernán Thomas, Mariano Fressoli y Alberto Lalouf</i> .....	9
La construcción social de hechos y de artefactos: o acerca de cómo la sociología de la ciencia y la sociología de la tecnología pueden beneficiarse mutuamente, <i>Trevor J. Pinch y Wiebe E. Bijker</i> .....	19
La construcción social de la baquelita: hacia una teoría de la invención, <i>Wiebe E. Bijker</i> .....	63
La evolución de los grandes sistemas tecnológicos, <i>Thomas P. Hughes</i> .....	101
La dinámica de las redes tecno-económicas, <i>Michel Callon</i> .....	147
Cruzando fronteras: un diálogo entre tres formas de comprender el cambio tecnológico, <i>Henrik Bruun y Janne Hukkinen</i> .....	185
Estructuras cerradas <i>versus</i> procesos dinámicos: trayectorias y estilos de innovación y cambio tecnológico, <i>Hernán Thomas</i> .....	217
Referencias bibliográficas .....	263
Autores y compiladores .....	291

## Introducción

Hernán Thomas / Mariano Fressoli / Alberto Lalouf

Un homínido recoge una gruesa rama del suelo. Juega con ella entre sus manos torpes y sucias. La balancea, la sopesa, la blande. Luego de largos minutos decide llevarla consigo. Se cruza con otro humanoide, extraño, ajeno a su grupo. Sin dudar, de una sola vez, aporrea a su adversario, abriéndole un claro surco de sangre en el cuero cabelludo. Un acto simple que lo convierte, al mismo tiempo, en asesino, sujeto de poder... y generador de un artefacto. En este caso, de un “naturfacto” (una herramienta creada por la mera acción de tomar algo de la naturaleza en el estado en que se encuentra y asignarle una cierta función, una cierta utilidad).

La existencia de hombres y mujeres sobre la Tierra (y en el espacio exterior, ¡claro!), es impensable sin tecnologías. Haga usted un simple ejercicio mental. ¿Cuál de las actividades que realiza cotidianamente es posible sin recurrir al uso de alguna tecnología?, ¿despertarse?, ¿bañarse?, ¿desayunar café, jugo y medialunas?, ¿viajar a su trabajo?, ¿su trabajo?, ¿o, tal vez, ir al cine o al teatro?... ¡No hablemos de cosas obvias, como asistir a un programa de televisión, o chatear en su computadora, o hablar por teléfono! Todo lo que se vincula a su existencia, desde la más simple de las comunicaciones verbales hasta el complejo acto de leer este libro participa de una dimensión estrictamente humana: la tecnológica.

Y no se trata solamente de los *artefactos* que utiliza usted, y de las múltiples redes de las que estos artefactos forman parte (energía, transportes, logística, comunicación, etc.), sino también de los *conocimientos* necesarios para producir y utilizar esas tecnologías. Aun de todas aquellas que

usted utiliza sin saber cómo es que sabe operarlas. Aquellas que aprendió a utilizar por el mero hecho de estar allí.

¿Ya pensó también en las múltiples, infinitas series de prácticas estereotipadas que usted pone en juego en cada acto de su vida, desde escribir o jugar al tenis, hasta manejar su automóvil o diseñar programas de computación? Centenares de miles de *técnicas*, tácitas o codificadas, que usted aprendió a desplegar, con mayor o menor competencia, a lo largo de su vida.

Es que, en verdad, no se trata de “sus tecnologías y usted”, o en un nivel más abstracto, de la relación entre “tecnología y sociedad”. Usted está tecnológicamente constituido. Usted es un ser tecnológico, más allá de que esta idea le resulte agradable o no. Porque las sociedades están tecnológicamente configuradas, exactamente en el mismo momento y nivel en que las tecnologías son socialmente construidas y puestas en uso. Todas las tecnologías son sociales. *Todas las tecnologías son humanas* (por más inhumanas que a veces parezcan).

Pero no solo se trata de considerar a las tecnologías como *productos* o *procesos productivos*. Solo recientemente hemos percibido que las formas de *organización* son también tecnologías. Desde aquellas que asignan un orden a un conjunto de operaciones de producción, de acciones bélicas, o de sistemas de evacuación de un estadio, hasta aquellas que adquieren formatos normativos, como los sistemas legales o las regulaciones de comercio. En este nivel organizacional, una legislación no se diferencia de otros artefactos tecnológicos.

*La dimensión tecnológica atraviesa la existencia humana.* Desde la producción hasta la cultura, desde las finanzas hasta la política, desde el arte hasta el sexo.

Lo curioso es que, normalmente, reflexionamos poco sobre la tecnología. Pasa desapercibida, naturalizada como la lluvia o las olas. Solo se hace visible en dos momentos particulares: cuando deja de funcionar o cuando cambia rápidamente.

Recién cuando se corta el suministro de energía pensamos –normalmente, entre maldiciones– en la compañía eléctrica, las regulaciones del sistema de energía local, el servicio de atención al público.

¿Y por qué maldecimos? No simplemente porque se han apagado las lámparas, sino porque percibimos que con el apagón han dejado de funcionar el ascensor, la heladera, el teléfono inalámbrico, la televisión, la radio, y todos los artefactos que nos rodean cotidianamente. Si pensamos un poco más, también tomamos conciencia de la eventual escasez de agua, del estado de los alimentos, del lavado de nuestras ropas, del profundo aburrimiento que nos invade lentamente cuando lo único que queda por hacer es aguardar el regreso de la energía a la luz de una vela. Claro que la vela es también un artefacto de iluminación. Solo que correspondiente a otro sistema tecnológico, que no requería electricidad, pero sí producción de cera, y un sistema de transporte, distribución y comercialización. ¿Habremos comprado velas?, ¿durarán hasta que vuelva la luz? Porque siempre regresa, en algún *mágico* momento en que nos alegramos por haber superado la crisis, y podemos volver a nuestras prácticas cotidianas.

Pero, durante ese luctuoso momento en que solo podemos reflexionar a oscuras, a veces podemos percibir otra de las características básicas de las tecnologías que manejamos: su interconexión, su interdependencia. Hacemos un viaje imaginario que comienza en el interruptor y continúa por los sistemas de cables. Recorremos la casa visualizando todo lo que está directamente conectado a la red. Avanzamos hasta los sistemas troncales de distribución, pasamos por subestaciones y llegamos a unidades de generación (turbogeneradores, centrales hidroeléctricas). ¡Y no hay por qué detenerse! Desde sistemas de producción, distribución y abastecimiento de gas y fueloil a regímenes de lluvia y nieve en la cordillera, nos trasladamos hasta pozos de petróleo, guerras en Medio Oriente o fenómenos de cambio climático. Las ramificaciones que se nos presentan son múltiples: minas de cobre, fibras ópticas, sistemas de control informatizados, formación de recursos humanos, regulaciones de servicios eléctricos, políticas de privatización, estrategias de desarrollo industrial, políticas de ajuste, empresas, inversiones, ideologías. Y el recorrido se complica aún más si incorporamos (¡y cómo excluirlos!) políticos y procesos de tomas de decisión, empresarios y negocios, técnicos e ingenieros, publicistas y científicos, agentes de atención al público y

funcionarios burocráticos públicos y privados, productores y usuarios.

Para colmo, no se trata de poder clasificar *a priori* esas acciones en series homogéneas de artefactos tecnológicos y actos sociales. Porque los ingenieros se entremezclan con los procesos de toma de decisión, los políticos con los sistemas financieros, los negocios con el mantenimiento del tendido eléctrico, los cables con los economistas, las lámparas con las empresas transnacionales, las centrales hidroeléctricas con Greenpeace, la luz que no se enciende con José Alfredo Martínez de Hoz y la carne deteriorándose en la heladera con Domingo Cavallo.

Y no se trata de que nos hayamos vuelto maníacos obsesivos, sino de que las relaciones entre humanos y artefactos nos llevaron, en un viaje de causas a efectos, a reconstruir un laberinto heterogéneo de hombres y máquinas, de grupos sociales y sistemas tecnológicos. Llega un momento en que nos detenemos, porque regresó la luz y podemos volver a distraernos con todos esos artefactos en los que gastamos nuestros salarios, o porque comenzamos a marearnos por la complejidad del entramado de *actos y artefactos*.

Vivimos no solo *con* tecnologías singulares, sino *gracias a* sistemas tecnológicos. Cientos de miles de millones de interjuegos se producen a cada instante para reproducir nuestra existencia. Y, a veces, para cambiarla.

No hay una relación sociedad-tecnología, como si se tratara de dos cosas separadas. Nuestras sociedades son tecnológicas así como nuestras tecnologías son sociales. *Somos seres socio-técnicos*.

Lo que ocurre en el nivel individual, también ocurre en el nivel social. Así como raras veces pensamos en la dimensión tecnológica, las ciencias sociales se han ocupado poco de la temática. Solo algunas pequeñas y periféricas subdisciplinas de la sociología, la antropología, la filosofía y, ¡sorprendentemente!, de la economía, se han focalizado en el análisis de la dimensión tecnológica de la existencia humana. Las dimensiones política, económica y cultural de las ciencias sociales, en particular, han ocupado la atención de sociólogos, antropólogos, politólogos y economistas, prácticamente en ausencia de la dimensión tecnológica. A punto tal que la producción académica de ciencias

sociales ha construido alrededor de la cuestión tecnológica un área de vacancia.

Tanto a nivel internacional como nacional, las producciones sobre la cuestión socio-técnica son relativamente escasas, y fragmentarias. Tampoco ocupan un espacio relevante en la formación curricular de científicos e intelectuales. ¿Ha tenido usted formación escolar o universitaria en alguna materia titulada "Tecnología y sociedad", "Sistemas sociales y sistemas tecnológicos", "Tecnología y civilización", "Tecnología y cultura"? Seguramente no, si ha cursado usted programas de formación en ciencias sociales. Pero probablemente tampoco si tiene estudios universitarios en ingeniería o ciencias exactas.

Problema: si las tecnologías son construcciones sociales, interconectadas en un altísimo grado de complejidad, constitutivas de las sociedades humanas, ¿no sería pertinente prestar atención sobre los procesos de cambio tecnológico y social? O, en otro plano, si uno de nuestros principales problemas sociales y económicos se vincula claramente a un déficit de desarrollo organizacional y productivo, ¿no sería prudente focalizar nuestra atención en las múltiples formas de generar, utilizar y seleccionar nuestra dotación tecnológica local?

Este libro ha sido concebido como un paso hacia la resolución de este problema. Claro, en el nivel y alcance en el que un libro puede realizar una contribución. Así, el objetivo principal de este texto es proponer una serie de lecturas que contienen herramientas de análisis, conceptos teóricos generados con el objetivo de *comprender por qué tanto las tecnologías como las sociedades son como son, y no son de otra manera*.

De la literatura disponible, hemos realizado una selección de los principales artículos de algunos autores considerados hoy como referencias en el campo de la sociología de la tecnología: Wiebe E. Bijker, Michel Callon, Thomas P. Hughes, Trevor J. Pinch. Los otros dos artículos, de Henrik Bruun y Janne Hukkinen, y Hernán Thomas, constituyen tentativas de integración y profundización de estas propuestas teóricas.

La traducción implicó un proceso de ajustes sucesivos. Alfonso Buch realizó una primera versión de los textos, luego, Polly Maclaine

Pont, Mariano Fressoli y Alberto Lalouf hicieron una corrección inicial. Finalmente, Hernán Thomas se ocupó de la revisión y organización final.

El artículo de Trevor J. Pinch y Wiebe E. Bijker, "La construcción social de hechos y de artefactos: o acerca de cómo la sociología de la ciencia y la sociología de la tecnología pueden beneficiarse mutuamente", proponen el concepto de *flexibilidad interpretativa* como una herramienta central para la explicación de las formas que adquieren los artefactos tecnológicos. A partir del análisis del desarrollo de la bicicleta, los autores muestran que el diseño de los artefactos constituye el resultado de procesos de disputas y negociaciones entre diversos grupos sociales. Relacionan así el accionar de movimientos feministas, las luchas de los obreros ingleses, los usuarios de la élite británica, el uso deportivo de los velocípedos y la relación entre diseño de las bicicletas y el riesgo de emplearlas.

En "La construcción social de la baquelita: hacia una teoría de la invención", Wiebe E. Bijker profundiza la propuesta anterior. Al mismo tiempo que analiza el proceso de invención y producción industrial de la baquelita como sustituto de la madera y el marfil, pone en juego una nueva herramienta teórica, el "marco tecnológico" (en cierto modo, similar al paradigma kuhniano), que permite vincular las descripciones técnicas de los artefactos con la formulación de relaciones problema-solución, las determinaciones estéticas, los procesos de testeo y los conocimientos científicos y tecnológicos, en la construcción de un elemento clave: el *funcionamiento* de los artefactos. De esta manera, el funcionamiento deja de ser una condición intrínsecamente tecnológica, para pasar a ser el resultado de complejos procesos de construcción social.

El artículo de Thomas P. Hughes, "La evolución de los grandes sistemas tecnológicos", propone una relectura de las conceptualizaciones disponibles sobre procesos de cambio tecnológico, basándose en el carácter sistémico de las relaciones entre sus componentes. A lo largo del texto despliega nuevas nociones teóricas, ejemplificadas con el análisis de la generación de la energía eléctrica, desde la figura del

empresario hasta la construcción de *sistemas tecnológicos*. En los sistemas tecnológicos de Hughes se integran elementos heterogéneos, incorporados mediante diversas acciones realizadas por un "constructor del sistema" (individual o colectivo): Thomas Alva Edison, General Electric, Westinghouse.

El artículo de Michel Callon, "La dinámica de las redes tecno-económicas", constituye una propuesta de abordaje teórico-metodológico, orientada a integrar elementos de sociología de la tecnología y economía del cambio tecnológico. Siguiendo el planteo de "simetría radical" de Bruno Latour, las redes callonianas suponen el alineamiento y coordinación de actores humanos y no humanos. Cuestionando las teorías convencionales del "actor", científicos, tecnólogos, *papers*, empresarios, instrumentos y dinero (en sus múltiples formas) se entremezclan en el urdido de una trama explicativa destinada a superar, y contradecir, el sentido común moderno acerca del cambio tecnológico y social.

Los dos últimos artículos suponen tentativas de integración de diferentes alternativas teórico-conceptuales.

Henrik Bruun y Janne Hukkinen, en su artículo "Cruzando fronteras: un diálogo entre tres formas de comprender el cambio tecnológico", exploran las posibilidades de integración y complementación entre los abordajes teórico-metodológicos de Callon y Bijker y las conceptualizaciones generadas en el campo de la economía neoschumpeteriana y evolucionista del cambio tecnológico (Chris Freeman, Nathan Rosenberg, Richard Nelson). Proponen una correlación positiva de diferentes potenciales explicativos respecto de las distintas instancias de los procesos de cambio tecnológico: invención, innovación, difusión, producción.

Finalmente, en "Esquemas cerrados *versus* procesos dinámicos: trayectorias y estilos de innovación y cambio tecnológico", Hernán Thomas revisa las distintas teorizaciones constructivistas disponibles, y propone una nueva serie de conceptos (dinámicas y trayectorias socio-técnicas, resignificación de tecnologías y conocimientos genéricos) con dos objetivos: superar las restricciones analíticas de estos abordajes y adecuar las herramientas teóricas para el análisis simétrico

co -socio-históricamente situado- de procesos de cambio tecnológico tanto en países desarrollados como subdesarrollados.

Lejos de un conjunto de herramientas cerradas, un vocabulario interno restringido a una única disciplina, estas conceptualizaciones suponen la habilitación de nuevas capacidades explicativas, útiles no solo para sociólogos o historiadores de la tecnología, sino también, y fundamentalmente, para investigadores de todas aquellas disciplinas preocupadas por los problemas del cambio tecnológico y su relación con el cambio social. Economistas, sociólogos, politólogos, antropólogos, filósofos, pueden encontrar en las páginas siguientes herramientas para formular nuevas respuestas a viejas preguntas: ¿el cambio tecnológico determina el cambio social? ¿Las tecnologías son de uso y acceso universal? ¿La innovación tecnológica es el resultado de la reificación de intereses de clase? ¿La transferencia tecnológica es un motor de desarrollo económico y social? ¿Las nuevas tecnologías suponen la posibilidad de gestación de nuevos espacios de libertad e integración social?

Al mismo tiempo, con un poco de suerte, la lectura de estos textos posibilitará dos derivaciones: la ruptura de formas cristalizadas de sentido común sobre la tecnología (como una forma "autónoma" y "neutral", generada en procesos lineales de desarrollo de "ciencia aplicada"), y la problematización del papel que desempeñan las tecnologías en las diversas disciplinas orientadas a explicar procesos sociales, culturales, políticos y económicos.

Aunque, en realidad, esto puede ser una cuestión secundaria. Tal vez la principal utilidad de *Actos, actores y artefactos* sea ofrecerle una serie de herramientas conceptuales para ordenar el caos laberíntico de su análisis la próxima vez que se corte la luz.

La publicación de este libro no hubiera sido posible sin la colaboración de distintas personas e instituciones.

Wiebe E. Bijker, Michel Callon, Thomas P. Hughes y Trevor J. Pinch cedieron generosamente los derechos de autor sobre los textos aquí publicados.

Los artículos de Wiebe E. Bijker, Thomas P. Hughes y Trevor J. Pinch se publicaron originalmente en *The Social Construction of Technological Systems. New Directions in the Sociology and History of Technology* (editado por Wiebe E. Bijker, Thomas P. Hughes y Trevor J. Pinch, Cambridge, MIT Press, 1987). Pamela Quick, de The Massachusetts Institute of Technology Press, colaboró con la gestión de los derechos de autor.

Henrik Bruun y Janne Hukkinen, por su parte, enviaron una versión revisada de su artículo.

Alex de Kock, Bert van Oortmarsen y el Museo de Richmond-upon-Thames, Surrey (Gran Bretaña), autorizaron la reproducción de imágenes para el artículo de Wiebe E. Bijker, "La construcción social de la baquelita: hacia una teoría de la invención".

Polly C. A. Maclaine Pont y Guillermo Santos revisaron y corrigieron diversas versiones de originales.

Mónica Aguilar y Rafael Centeno de la Editorial de la Universidad Nacional de Quilmes pacientemente cuidaron de la edición del libro.

Finalmente, agradecemos el apoyo del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET), la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCYT) y la Universidad Nacional de Quilmes (UNQ).

La construcción social de hechos y de artefactos:  
o acerca de cómo la sociología de la ciencia  
y la sociología de la tecnología pueden  
beneficiarse mutuamente\*

Trevor J. Pinch / Wiebe E. Bijker

Uno de los rasgos más sorprendentes del crecimiento de los “estudios sociales de la ciencia” en los años recientes ha sido la separación de la ciencia y la tecnología. Abundan los estudios sociológicos acerca del nuevo conocimiento sobre la ciencia, lo que también ocurre con los estudios sobre la innovación tecnológica, pero pocos intentos se han realizado en juntar ambos cuerpos de conocimiento.<sup>1</sup> Es posible que la

\* Publicado originalmente como “The Social Construction of Facts and Artifacts: Or How the Sociology of Science and the Sociology of Technology Might Benefit Each Other”, en Bijker, W. E., T. P. Hughes y T. J. Pinch (eds.) (1987), *The Social Construction of Technological Systems. New Directions in the Sociology and History of Technology*, Cambridge, The MIT Press. Este artículo es una versión abreviada y actualizada de Pinch y Bijker (1984). Agradecemos a Henk van den Belt, Ernst Homburg, Donald MacKenzie y Steve Woolgar por comentarios realizados a un borrador anterior. Queremos agradecer a la Stiftung Volkswagen, de la República Federal Alemana, a la Twente University of Technology, en los Países Bajos, y al SSRC del Reino Unido (bajo el subsidio G/00123/0072/1) por el apoyo económico.

<sup>1</sup> El divorcio entre la ciencia y la tecnología pareciera resultado no tanto de la ausencia de metas analíticas globales al interior de los “estudios de la ciencia”, sino más a las demandas contingentes del desarrollo de estudios en esas áreas. Para dar un ejemplo: la nueva sociología del conocimiento científico, que intenta tener en cuenta el actual contenido del conocimiento científico, puede ser mejor desarrollada por investigadores que poseen algún entrenamiento en la ciencia que estudian, o al menos por quienes poseen alguna familiaridad con un extenso cuerpo de literatura técnica (en verdad, muchos investigadores son ex científicos naturales). Habiendo ganado esta experticia, los investigadores tienden a estar dentro del dominio donde su experticia puede ser mejor desarrollada. De manera similar, los estudios sobre I+D y sobre innovación, en los cuales los análisis

ciencia y la tecnología sean esencialmente diferentes y que se justifiquen diferentes aproximaciones a su estudio. Sin embargo, no podemos estar seguros de esto hasta que no haya sido realizado el intento de tratarlas dentro del mismo esfuerzo analítico.

El argumento de este artículo es que el estudio de la ciencia y el estudio de la tecnología debieran, y de hecho pueden, beneficiarse mutuamente. En particular, argumentamos que la perspectiva del constructivismo social que prevalece en la sociología de la ciencia –y que también está emergiendo en la sociología de la tecnología– provee un punto de partida útil. Establecemos las preguntas constitutivas a las que dicha aproximación unificada –proveniente del constructivismo social– debería contestar tanto empírica como analíticamente.

Este artículo consta de tres secciones principales. En la primera parte esbozamos varios hilos argumentativos y revisamos bibliografía que consideramos relevante para nuestras metas. Luego discutimos las dos aproximaciones específicas a partir de las cuales se ha desarrollado nuestro punto de vista: el “programa empírico del relativismo” (Collins, 1981d) y el constructivismo social en el estudio de la tecnología (Bijker *et al.*, 1984). En la tercera parte juntamos estas dos aproximaciones y damos algunos ejemplos empíricos. En las conclusiones resumimos nuestros hallazgos e indicamos las direcciones en las que creemos que el programa puede ser proseguido de manera fructífera.

#### ALGUNA BIBLIOGRAFÍA RELEVANTE

En esta sección llamamos la atención sobre tres cuerpos de literatura en los estudios de ciencia y tecnología. Las tres áreas discutidas son

---

están centrados en la firma y en el mercado, han tendido a demandar la competencia especializada de economistas. Estos cuerpos de trabajo tan dispares no han llevado a una concepción más integrada de la ciencia y la tecnología. Una excepción notable es Ravetz (1971). Este es uno de los pocos trabajos en los estudios recientes sobre la ciencia en el que tanto la ciencia como la tecnología, así como sus diferencias, son exploradas dentro de un marco analítico común.

la sociología de la ciencia, la relación entre ciencia y tecnología, y los estudios sobre tecnología.

#### Sociología de la ciencia

No es nuestra intención revisar en profundidad desarrollos en este campo tomado como un todo.<sup>2</sup> Estamos ocupados aquí solo con la emergencia reciente de la sociología del *conocimiento* científico.<sup>3</sup> Los estudios en esta área toman el contenido actual de las ideas científicas, las teorías y los experimentos como temas de análisis. Esto contrasta con la orientación de trabajos anteriores en sociología de la ciencia, interesados en la ciencia como institución y el estudio de las normas científicas, los patrones de las carreras y las estructuras de recompensa.<sup>4</sup> Tal vez un desarrollo significativo en el campo durante la última década, quizá el más significativo, ha sido la extensión de la sociología del conocimiento en la arena de las “ciencias duras”. La necesidad de tal “programa fuerte” fue esbozada por Bloor. Sus principios centrales son que, al investigar las causas de las creencias, los sociólogos deben ser imparciales respecto a la verdad o la falsedad de las creencias, y que estas creencias deben ser explicadas de manera simétrica (Bloor, 1973). En otras palabras, no debería buscarse explicaciones diferenciadas para lo que es considerada una “verdad” científica (por ejemplo, la existencia de los rayos X) y una “falsedad” científica (por ejemplo la existencia de los rayos N). Dentro de dicho programa, todo conocimiento y toda afirmación cognitiva han de ser tratados como siendo socialmente construidos; es decir, que las explicaciones acerca de la génesis, la aceptación y el rechazo de las afirmaciones cognitivas se deben buscar en el dominio del mundo social más que en el mundo natural.<sup>5</sup>

<sup>2</sup> Una revisión abarcativa puede encontrarse en Mulkay y Milic (1980).

<sup>3</sup> Para una revisión reciente de la sociología del conocimiento científico, véase Collins (1983c).

<sup>4</sup> Para una discusión del trabajo anterior (asociado con Robert Merton y sus discípulos), véase Whitley (1972).

<sup>5</sup> Para más discusiones, véase Barnes (1974), Mulkay (1979a), Collins (1983c) y Barnes y Edge (1982). Los orígenes de esta aproximación pueden hallarse en Fleck (1935).

Esta aproximación ha generado un vigoroso programa de investigación empírica, y es posible ahora entender los procesos de construcción del conocimiento científico en una diversidad de lugares y contextos. Por ejemplo, un grupo de investigadores ha concentrado su atención en el estudio de los laboratorios.<sup>6</sup> Otro ha elegido las controversias científicas como el lugar para su investigación y de tal modo se ha focalizado en la construcción social del conocimiento científico dentro de una comunidad más amplia de científicos.<sup>7</sup> De igual modo que en ciencias duras –como en física y en biología– la aproximación teórica ha demostrado ser fructífera en el estudio de las ciencias marginales<sup>8</sup> y en el estudio de debates públicos sobre la ciencia, tales como los vinculados a la polución con plomo.<sup>9</sup>

Si bien se presentan las usuales diferencias de opinión entre los investigadores acerca del mejor lugar en el que focalizar estas investigaciones (por ejemplo, el laboratorio, la controversia o el artículo científico), y si bien hay diferencias acerca de la estrategia metodológica más adecuada a seguir,<sup>10</sup> existe un amplio consenso acerca de que puede mostrarse –y de hecho se ha mostrado con profundidad– que el conocimiento científico está socialmente construido. Estas aproximaciones, a las que nos referimos como “constructivismo social”, marcan un nuevo desarrollo en la sociología de la ciencia. El tratamiento del conocimiento científico como una construcción social implica que no hay nada especial –desde el punto de vista epistemológico– en el conocimiento científico natural. Es meramente uno entre un conjunto de culturas del conocimiento (incluyendo, por ejemplo, los sistemas de conocimiento pertenecientes a tribus “primitivas”) (Barnes, 1974; Collins

<sup>6</sup> Véase, por ejemplo, Latour y Woolgar (1979), Knorr-Cetina (1981), Lynch (1985a) y Woolgar (1982).

<sup>7</sup> Véase, por ejemplo, Collins (1975), Wynne (1976), Pinch (1977, 1986), Pickering (1984) y los estudios de Pickering, Harvey, Collins, Travis, y Pinch y Collins (1981a).

<sup>8</sup> Collins y Pinch (1979, 1982).

<sup>9</sup> Robbins y Johnston (1976). Para un análisis similar de las controversias públicas de la ciencia, véase Gillespie *et al.* (1979) y McCrea y Markle (1984).

<sup>10</sup> Algunos de los debates más recientes pueden encontrarse en Knorr-Cetina y Mulkey (1983).

y Pinch, 1982). Desde luego, los éxitos y los fracasos de ciertas culturas del conocimiento requieren aún ser explicados, pero esto debe ser visto como una tarea sociológica, no epistemológica.

La sociología del conocimiento científico ha generado nuevas posibilidades de estudio en otras áreas de los “estudios de la ciencia”. Por ejemplo, se ha argumentado que el nuevo trabajo posee relevancia para la historia de la ciencia (Shapin, 1982), la filosofía de la ciencia (Nickles, 1982), y la política científica (Healey, 1982; Collins, 1983b). La perspectiva del constructivismo social no solo parece estar ganando terreno como un importante cuerpo de trabajos por propio derecho, sino que también muestra potencial para ser aplicado en ámbitos más amplios. Este cuerpo de trabajos constituye uno de los pilares de nuestra propia aproximación al estudio de la ciencia y la tecnología.

### La relación ciencia-tecnología

La literatura sobre la relación entre la ciencia y la tecnología es heterogénea, e incluye contribuciones correspondientes a distintas perspectivas disciplinarias. No pretendemos presentar aquí más que una revisión parcial, reflejando nuestros propios intereses.

Un tema –tratado fundamentalmente por filósofos– es el intento de separar la tecnología de la ciencia desde una perspectiva analítica. Al hacer esto, los filósofos tienden a plantear distinciones idealizadas en extremo, tales como que la ciencia trata del descubrimiento de verdades mientras que la tecnología trata acerca de las aplicaciones de la verdad. En este sentido, la bibliografía sobre la filosofía de la tecnología desilusiona bastante (Johnson, 1984). Preferimos suspender el juicio sobre esta hasta que los filósofos propongan modelos más realistas tanto de la ciencia como de la tecnología.

Otra línea de investigación en torno a la naturaleza de la relación entre la ciencia y la tecnología ha sido desarrollada por los investigadores de la innovación. Han intentado investigar empíricamente el grado en el cual la innovación tecnológica incorpora –o se origina a partir de– la ciencia básica. Un corolario de esta aproximación ha sido

el trabajo de algunos investigadores que han buscado relaciones en la dirección opuesta; es decir, han argumentado que la ciencia pura es deudora de desarrollos tecnológicos.<sup>11</sup> Los resultados de las investigaciones empíricas acerca de la dependencia de la tecnología en la ciencia han sido bastante frustrantes. Ha sido difícil especificar la interdependencia. Por ejemplo, el Proyecto Hindsight, financiado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, encontró que la mayor parte del crecimiento tecnológico, más que de la ciencia pura, proviene de proyectos orientados a la resolución de problemas específicos y de la ingeniería de I+D (Sherwin e Isenson, 1966, 1967). Estos resultados fueron apoyados hasta cierto punto por un estudio británico posterior (Langrish *et al.*, 1972). Por el otro lado, el Proyecto TRACES –financiado por la National Science Foundation en respuesta al Proyecto Hindsight– encontró que la mayor parte del desarrollo tecnológico proviene de la investigación básica (Illinois Institute of Technology, 1968). Todos estos estudios han sido criticados por su carencia de rigor metodológico, por lo tanto es necesaria suma cautela a la hora de sacar cualquier conclusión definitiva a partir de estos trabajos (Kreilkamp, 1971; Mowery y Rosenberg, 1979). La mayoría de los investigadores hoy en día pareciera estar dispuesta a admitir que la innovación tecnológica tiene lugar en un amplio rango de circunstancias y de épocas históricas, y que por lo tanto la importancia que puede atribuirse a las ciencias básicas probablemente varíe considerablemente en cada caso.<sup>12</sup> Ciertamente, la mirada prevaleciente en los “malos tiempos idos” (Barnes, 1982a) –en los que la ciencia descubría y la tecnología aplicaba– ya no será suficiente. Los modelos simplistas y las generalizaciones han sido abandonados. Como lo señalaba Layton en una entrevista:

La ciencia y la tecnología se han entremezclado. La tecnología moderna involucra científicos que “hacen” tecnología y tecnólogos que funcionan como científicos [...] La vieja perspectiva acerca de que las ciencias

básicas generan todo el conocimiento que los tecnólogos luego aplican, simplemente no sirve para comprender la tecnología contemporánea (Layton, 1977, p. 210).

Los investigadores interesados en medir con exactitud la interdependencia entre la ciencia y la tecnología parecen haber realizado la pregunta equivocada, debido a que han asumido que la ciencia y la tecnología son estructuras monolíticas bien definidas. No han percibido que la ciencia y la tecnología son producidas socialmente en una variedad de circunstancias sociales (Mayr, 1976). Parece existir en la actualidad, sin embargo, un movimiento hacia concepciones más sociales de la relación entre la ciencia y la tecnología. Por ejemplo, Layton escribe: “Las divisiones entre la ciencia y la tecnología no son las divisiones entre las funciones abstractas del conocer y el hacer. Más bien, son sociales” (Layton, 1977, p. 209).

Barnes ha descrito recientemente este cambio de pensamiento:

Comienzo con la mayor reorientación de nuestro pensamiento acerca de las relaciones entre la ciencia y la tecnología que ha ocurrido en los años recientes [...] Reconocemos que la ciencia y la tecnología se encuentran a la par. Ambos conjuntos de prácticas suponen la extensión y el desarrollo creativo de su cultura, pero ambas también toman y explotan parte de la cultura de la otra [...] Están de hecho enredadas en una relación simbiótica (Barnes, 1982a, p. 166).

Si bien Barnes puede ser excesivamente optimista al afirmar que ha ocurrido una “reorientación mayor”, puede verse que la perspectiva del constructivismo social se adecua bien a su concepción sobre la relación entre la ciencia y la tecnología. Puede considerarse que los científicos y los tecnólogos construyen sus respectivos cuerpos de conocimiento y de técnicas, cada cual tomando recursos de los otros en el lugar y el momento en que estos recursos pueden ser ventajosamente explotados. En otras palabras, tanto la ciencia como la tecnología son culturas socialmente construidas, y apelan a los recursos culturales

<sup>11</sup> El *locus classicus* es el estudio de Hessen (1931).

<sup>12</sup> Véase, por ejemplo, De Solla Price (1969), Jevons (1976) y Mayr (1976).

que son apropiados para los propósitos que tienen entre manos. Desde esta perspectiva, la frontera entre la ciencia y la tecnología es –bajo instancias particulares de cada caso– un asunto de negociación social, que no representa distinciones *a priori* que deban subrayarse. Tiene poco sentido entonces tratar la relación entre la ciencia y la tecnología de un modo general y unidireccional. Si bien no proseguiremos este asunto más allá en este artículo, es claramente un asunto que merece investigaciones empíricas posteriores.

### Estudios sobre tecnología

Nuestra discusión acerca de los estudios sobre tecnología es aún más esquemática. Existe una gran cantidad de escritos rotulados como “estudios sobre tecnología”. Es conveniente dividir esta literatura en tres partes: estudios sobre innovación, historia de la tecnología, y sociología de la tecnología. Discutimos cada uno de ellos por separado.

La mayoría de los estudios sobre innovación ha sido llevada a cabo por economistas que buscaban establecer las condiciones del éxito en la innovación. Los factores investigados incluyen varios aspectos de la firma innovativa (por ejemplo las dimensiones del esfuerzo en I+D, capacidad gerencial y capacidad de comercialización) junto con factores macroeconómicos pertenecientes a la economía como un todo.<sup>13</sup> Esta literatura tiene, en algunos aspectos, reminiscencias de las primeras épocas de la sociología de la ciencia, cuando el conocimiento científico era tratado como una “caja negra” (Whitley, 1972). Para el alcance de este tipo de estudios, los científicos bien habrían podido dedicarse a producir pasteles de carne. De manera similar, en el análisis económico de la innovación tecnológica se incluye todo aquello que posee una influencia sobre la innovación, excepto una discusión sobre la tecnología en sí misma. Como lo nota Layton:

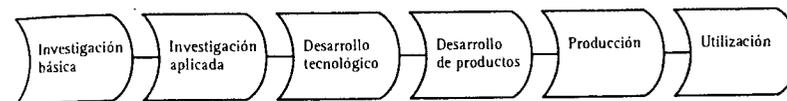
<sup>13</sup> Véase por ejemplo, Schumpeter (1928, 1942), Schmookler (1966, 1972), Freeman (1974, 1977) y Scholz (1976).

Lo que se necesita es una comprensión de la tecnología desde adentro, como un cuerpo de conocimiento y como un sistema social. En lugar de eso, la tecnología es habitualmente tratada como una “caja negra”, cuyos contenidos y comportamientos pueden ser asumidos a partir del conocimiento común (Layton, 1977, p. 198).

Solo recientemente los economistas han comenzado a mirar dentro de esa caja negra.<sup>14</sup>

El fracaso en explicar el contenido de la innovación tecnológica es resultado del amplio uso dado al modelo lineal simple para describir el proceso de innovación. El número de pasos en el desarrollo asumido por estos modelos parece ser bastante arbitrario (para un ejemplo de un proceso en seis etapas véase la figura 1).

Figura 1. Un modelo de seis etapas del proceso de innovación (Adaptado de Uhlmann, 1978, p. 45)



Si bien estos estudios han contribuido en mucho a la comprensión de las condiciones del éxito económico en la innovación tecnológica, no pueden ser usados como base para una perspectiva constructivista social de la tecnología dado que ignoran el contenido tecnológico.<sup>15</sup>

Esta crítica no puede ser adjudicada a la historia de la tecnología, donde existen diversos estudios elaborados con sutileza acerca del desarrollo de tecnologías particulares. Sin embargo, para los propósitos de una sociología de la tecnología, estos desarrollos disciplinares

<sup>14</sup> Véase por ejemplo, Rosenberg (1982), Nelson y Winter (1977, 1982) y Dosi (1982, 1984a). Un estudio que los precede es Rosenberg y Vincenti (1978).

<sup>15</sup> Para otra crítica de estos modelos lineales, véase Kline (1985).

presentan dos niveles de problemas. El primero es que la historiografía descriptiva es un problema endémico en esta disciplina. Pocos investigadores (si bien existen algunas excepciones notables) parecen interesados en generalizar más allá de las instancias históricas, y es difícil discernir patrones generales sobre los cuales construir una teoría sobre la tecnología (Staudenmaier, 1983; 1985). Esto no quiere decir que tales estudios no sean ladrillos útiles para una perspectiva constructivista social de la tecnología, sino que estos historiadores no han mostrado aún intenciones de realizar sociología del conocimiento de una forma diferente.<sup>16</sup>

El segundo problema concierne al carácter asimétrico de la selección del objeto de análisis. Por ejemplo, se ha señalado que en los veinticinco volúmenes de la revista *Technology & Culture* solo nueve artículos fueron dedicados al estudio de innovaciones tecnológicas fracasadas (Staudenmaier, 1985). Esto contribuye a la adopción implícita de una estructura del desarrollo tecnológico lineal, que sugiere que “toda la historia del desarrollo tecnológico ha seguido un camino ordenado o racional, como si el mundo actual fuera la meta precisa hacia la cual todas las decisiones, hechas desde el comienzo de la historia, hubieran estado dirigidas conscientemente” (Ferguson, 1974b, p. 19).

Esta preferencia por las innovaciones exitosas parece llevar a los investigadores a asumir que el éxito de un artefacto constituye una explicación de su desarrollo y funcionamiento. Los historiadores de la tecnología a menudo parecen estar satisfechos en confiar en el éxito manifiesto de un artefacto como una evidencia de que no se requiere un trabajo explicativo posterior. Por ejemplo, muchos historiadores del plástico sintético comienzan por describir las características “técnicamente agradables” de la baquelita; estos rasgos son luego utilizados para situar a la baquelita al comienzo del glorioso desarrollo de este

<sup>16</sup> Shapin plantea que “una perspectiva adecuada acerca de los usos de la ciencia debería revelar que la sociología del conocimiento y la historia de la tecnología tienen más en común de lo que es usualmente pensado” (1980, p. 132). Aún cuando simpatizamos con los argumentos de Shapin, consideramos que los tiempos ya están maduros para hacer preguntas más agudas en los estudios históricos.

campo: “¡Dios dijo: ‘hágase la baquelita’ y todo fue plástico!” (Kaufman, 1963, p. 61).

Un estudio más detallado del desarrollo del plástico y de la química del barniz, con posterioridad a la publicación, en 1909, del proceso de elaboración de la baquelita (Baekeland, 1909c; 1909d) muestra sin embargo que la baquelita no fue reconocida inicialmente como aquella maravillosa resina sintética, como posteriormente ocurrió.<sup>17</sup> Y esta situación no sufrió alteraciones significativas a lo largo de los siguientes diez años.

Durante la Primera Guerra Mundial las perspectivas del mercado para los plásticos sintéticos devinieron aún peores. Sin embargo el *dumping* que se produjo en los suministros de fenol (usado en la manufactura de la baquelita) durante la guerra cambiaron radicalmente el escenario en 1918 (Haynes, 1954, pp. 137-138), e hicieron posible mantener los precios lo suficientemente bajos como para competir con resinas (semi)naturales, como el celuloide.<sup>18</sup> Es posible especular acerca de si la baquelita hubiera adquirido su preeminencia, en caso de no haberse beneficiado de la situación generada por el *dumping* del fenol. En cualquier caso, es claro que una explicación histórica basada en el éxito retrospectivo del artefacto deja mucho que desear.

Dada nuestra intención de construir una sociología de la tecnología que trate el conocimiento tecnológico del mismo modo simétrico e imparcial con que son tratados los hechos científicos en la sociología del conocimiento científico, parecería que gran parte de los textos históricos disponibles resultan insuficientes. El éxito de un artefacto no es

<sup>17</sup> Los manuales que describen los materiales resinosos mencionan la baquelita, pero no con la atención que, retrospectivamente, pensamos que estaría justificada. El profesor Max Bottler, por ejemplo, dedica una sola página a la baquelita en su libro de 228 páginas acerca de resinas y la industria de la resina (Bottler, 1924). Aún cuando –en otro texto– Bottler se concentra en los materiales resinosos *sintéticos*, la baquelita no recibe un indiscutible “primer lugar”. Solo la mitad del libro está dedicado a los productos condensados de fenol-formaldehído, y alrededor de la cuarta parte está dedicada a la baquelita (Bottler, 1919). Véase también Matthis (1920).

<sup>18</sup> Para una descripción de otros aspectos del éxito de la baquelita, véase Bijker en este volumen.

lo que explica su existencia, sino que es precisamente lo que necesita ser explicado. Para una teoría sociológica de la tecnología “el éxito” no debería ser el *explanans*, sino el *explanandum*.

Nuestro análisis no estaría completo, sin embargo, si no mencionamos algunos estudios desarrollados de manera reciente, especialmente en la historia norteamericana de la tecnología. Los mismos muestran la emergencia de un número creciente de temas teóricos en los cuales se ha focalizado la investigación histórica (Staudenmaier, 1985; Hughes, 1979b). Por ejemplo, la perspectiva de sistemas acerca de la tecnología,<sup>19</sup> la consideración del efecto de las relaciones laborales en el desarrollo tecnológico,<sup>20</sup> y ciertos estudios detallados acerca de algunas invenciones no tan exitosas,<sup>21</sup> parecen anunciar un desvío respecto a la “vieja” historia de la tecnología. Estos trabajos parecen ser prometedores para un análisis sociológico de la tecnología, y volveremos sobre ellos más adelante.

El último grupo de investigaciones que quisiéramos discutir es lo que puede ser descrito como “sociología de la tecnología”.<sup>22</sup> Han existido algunos intentos limitados en los años recientes por lanzar una sociología de este tipo, usando ideas desarrolladas en la historia y la sociología de la ciencia –estudios de, por ejemplo, Johnston (1972) y Dosi (1982), quienes abogan por la descripción del conocimiento tecnológico en términos de los paradigmas kuhnianos.<sup>23</sup> Estas aproximaciones cier-

<sup>19</sup> Véase, por ejemplo, Constant (1980), Hughes (1983) y Hanieski (1973).

<sup>20</sup> Véase, por ejemplo, Noble (1979), Smith (1977) y Lazonick (1979).

<sup>21</sup> Véase, por ejemplo, Vicenti (1986).

<sup>22</sup> Existe una tradición norteamericana en la sociología de la tecnología. Véase, por ejemplo, Gilfillan (1935), Ogburn (1945), Ogburn y Meyers Nimkoff (1955) y Westrum (1983). Una perspectiva comprensiva y ajustada del presente estado del arte en la sociología de la tecnología alemana puede obtenerse en Jokisch (1982). En Krohn *et al.* (1978) pueden encontrarse algunos estudios en la sociología de la tecnología que intentan romper con la aproximación tradicional.

<sup>23</sup> Dosi utiliza el concepto de trayectoria tecnológica, desarrollado por Nelson y Winter (1977); véase también Van der Belt y Rip (1987). Otras aproximaciones a la tecnología basadas en la idea de Kuhn acerca de la estructura comunal de la ciencia son mencionados en Bijker (en este volumen). Véase también Constant (1987) y la colección editada por Laudan (1984a).

tamente parecen ser más prometedoras que la historiografía descriptiva habitual, pero no es claro si sus autores comparten o no nuestra comprensión de los artefactos tecnológicos como construcciones sociales. Por ejemplo, ni Johnston ni Dosi consideran explícitamente la necesidad de una explicación sociológica simétrica que trate a los artefactos exitosos y fallidos de un modo equivalente. En verdad, al localizar su discusión en el nivel de los paradigmas tecnológicos, no estamos seguros acerca de cómo se deben analizar los artefactos en sí mismos. Como ningún autor ha producido aún un estudio empírico de la tecnología utilizando las ideas kuhnianas, es difícil evaluar cómo los términos kuhnianos pueden ser utilizados.<sup>24</sup> Ciertamente este ha sido un problema significativo en la sociología de la ciencia, donde no siempre ha sido posible dar a los términos de Kuhn una referencia empírica clara.

Las posibilidades de una perspectiva constructivista más radical de la tecnología han sido examinadas por Mulkay (1979b). Argumenta que el éxito y la eficacia de la tecnología puede plantear problemas especiales para una perspectiva constructivista social del *conocimiento científico*. Mulkay se opone al argumento de que la eficacia práctica de la tecnología de algún modo demuestra el privilegio epistemológico de la ciencia y su carácter excepcional respecto a una explicación sociológica.

A nuestro juicio, Mulkay se opone, de manera correcta, a este argumento señalando que existe en esa afirmación una noción implícita del tipo “la ciencia descubre, la tecnología aplica”. En un segundo argumento contrario a esta posición, Mulkay nota –siguiendo a Mario

<sup>24</sup> La primera decepción aparece, de hecho, en los estudios kuhnianos en sociología de la ciencia. Se esperaba que el concepto de *paradigma* de Kuhn fuera empleado por los sociólogos de manera directa en su estudio de la ciencia. Y, en verdad, hubo un conjunto de estudios en que se hicieron intentos por identificar fases en ciencia, tales como fase preparadigmática, normal y revolucionaria. Pero pronto fue evidente que los términos de Kuhn habían sido formulados de un modo vago, y por lo tanto podían ser objeto de una variedad de interpretaciones. Y que, por lo tanto, estos conceptos no permitían, por sí mismos, una operacionalización directa. Véase por ejemplo, la discusión no concluyente acerca de la aplicabilidad de los análisis kuhnianos a la psicología en Palermo (1973). Una excepción notable es la contribución de Barnes a la discusión del trabajo de Kuhn (Barnes, 1982b).

Bunge (1966)– que es posible usar para una aplicación práctica una teoría total o parcialmente falsa: el éxito de la tecnología no tendría nada que decir acerca de la “verdad” del conocimiento científico en el cual está basado. Este segundo punto no lo encontramos totalmente satisfactorio. Quisiéramos más bien enfatizar que la verdad o la falsedad de un conocimiento científico es irrelevante para el análisis sociológico de una creencia: volver al argumento de que la ciencia puede estar equivocada pero que la tecnología aún puede estar basada en ella es equivocarse en el punto central. Aún más, el éxito de una tecnología queda todavía sin explicar por medio de ese argumento. La única manera efectiva para lidiar con estas dificultades es adoptar una perspectiva que intente mostrar que la tecnología, al igual que la ciencia, puede ser entendida como una construcción social.

Mulkay parece relictante a dar este paso debido a que, como lo señala, “hay pocos estudios [...] que consideran el modo en el que el significado técnico de las tecnologías duras está socialmente construido” (Mulkay, 1979b, p. 77). Esta situación, sin embargo, está comenzando a cambiar: ya se están realizando algunos estudios de este tipo. En un estudio pionero, Michel Callon ha mostrado, por ejemplo, la efectividad de focalizarse en las controversias tecnológicas. A partir de un extenso estudio de caso sobre el automóvil eléctrico francés (1960–1975), demuestra que casi cualquier cosa puede ser negociada: lo que es cierto y lo que no, quién es un científico y quién es un tecnólogo, qué es tecnológico y qué es social, quién puede participar en la controversia (Callon, 1980a; 1980b; 1981, y en este volumen). El estudio de David Noble acerca de la introducción de las máquinas-herramientas de control numérico puede ser leído como una contribución relevante a una perspectiva de la tecnología basada en el constructivismo social (Noble, 1984). Las metas explicativas de Noble provienen de una tradición un poco distinta (el marxismo).<sup>25</sup> Hay mucho para recomendar en este estudio: considera tanto el de-

<sup>25</sup> Para una revisión valiosa de los trabajos marxistas en esta área, véase MacKenzie (1984)

sarrollo de tecnologías exitosas como el de tecnologías fracasadas e intenta dar una explicación simétrica de ambos desarrollos. Otro estudio –intrigante dentro de esta tradición– es el relato de Lazonick (1979) acerca de la introducción de la *self-acting mule*: muestra que ciertos aspectos de este desarrollo técnico pueden ser entendidos en términos de relaciones de producción más que a partir de una lógica interna del desarrollo tecnológico. El trabajo desarrollado por Bijker, Böning y Van Oost es otro intento por mostrar cómo el carácter socialmente construido del contenido de ciertos artefactos tecnológicos puede ser analizado de manera empírica.<sup>26</sup>

En resumen, entonces, podemos decir que las tradiciones predominantes en los estudios acerca de la tecnología –estudios sobre innovación y de historia de la tecnología– no son muy estimulantes desde la perspectiva de nuestro programa. Hay excepciones, sin embargo: algunos estudios recientes en sociología de la tecnología presentan comienzos prometedores sobre los cuales construir una aproximación unificada. Daremos ahora una descripción más detallada acerca de cómo estas ideas pueden ser sintetizadas.

#### EL PER Y LA CST

En este apartado esbozamos de un modo más detallado los conceptos y métodos que queremos emplear. Comenzamos por describir el “programa empírico del relativismo” (PER) tal como fue desarrollado por la sociología del conocimiento científico. Luego discutimos más pormenorizadamente la aproximación tomada por Bijker y sus colaboradores en la sociología de la tecnología.

<sup>26</sup> Fueron realizados estudios de caso, utilizando fuentes históricas. Para un informe provisional de este estudio, véase Bijker *et al.* (1984). Los cinco artefactos estudiados fueron la baquelita, la luz fluorescente, la bicicleta segura, el telar Sulzer y el transistor. Véase también Bijker en este volumen.

## El programa empírico del relativismo

El PER es una aproximación que ha producido diversos estudios orientados a demostrar la construcción social del conocimiento científico en las ciencias "duras". Esta tradición de investigación ha emergido recientemente de la sociología del conocimiento científico. Sus principales características, que la distinguen de otras aproximaciones en la misma área, son: el foco en el estudio empírico de los desarrollos científicos contemporáneos, y el estudio de las controversias.<sup>27</sup>

Pueden identificarse tres etapas en los objetivos explicativos del PER. En la *primera etapa* se exhibe la flexibilidad interpretativa de los datos científicos; en otras palabras, se muestra que los hallazgos científicos están abiertos a más de una interpretación. Esto cambia el foco de la explicación de los desarrollos científicos del mundo natural al mundo social. Si bien esta flexibilidad interpretativa puede ser recuperada bajo ciertas circunstancias, es el caso que en la ciencia esta flexibilidad pronto desaparece. Es decir, que usualmente emerge un consenso científico acerca de lo que es la "verdad" en cualquier instancia particular. Los mecanismos sociales que limitan la flexibilidad interpretativa, y que por lo tanto permiten que las controversias científicas concluyan, son descritas en la *segunda etapa*. Una *tercera etapa*, que aún no ha sido desarrollada en ningún estudio sobre la ciencia contemporánea, es vincular estos "mecanismos de clausura" con el medio social más amplio. Si estas tres etapas fueran demostradas en un único estudio, como escribe Collins, "el impacto de la sociedad en el conocimiento 'producido' en el laboratorio podría ser reconocido aún en el caso más difícil posible" (Collins, 1981d, p. 7).

El PER representa un esfuerzo continuo, de parte de los sociólogos, por comprender el contenido de las ciencias naturales en tér-

minos de construcción social. Algunas áreas del programa han sido mejor investigadas que otras. La tercera etapa del programa no ha sido ni siquiera inicialmente trabajada, pero hay, en cambio, varios estudios excelentes que exploran la primera etapa. La mayor parte de los estudios en curso (correspondientes a la segunda etapa) están orientados a la elucidación de los mecanismos de clausura: allí donde el consenso emerge.

Varios de los estudios más fructíferos dentro del PER se han situado en el área de las controversias científicas. Las controversias ofrecen una ventaja metodológica debido a la relativa facilidad con la que revelan la flexibilidad interpretativa de los resultados de la investigación científica. Las entrevistas con científicos implicados en una controversia revelan fuertes y divergentes opiniones acerca de los hallazgos científicos. En la medida que dicha flexibilidad se desvanece, resulta difícil de recuperar a partir de las fuentes textuales con las que trabajan usualmente los historiadores. Collins ha destacado la importancia de los "grupos de controversia" en la ciencia por medio del uso del término "núcleo central" (*core set*) (Collins, 1981b). Estos son los científicos más íntimamente involucrados en un tema de investigación controversial. Debido a que el núcleo central se define en relación a la producción de conocimiento en ciencia (el "núcleo central" construye el conocimiento científico), algunos de los problemas empíricos encontrados en la identificación de grupos pueden ser resueltos a través de técnicas puramente sociométricas. Estudiar el "núcleo central" posee una ventaja metodológica extra: el consenso resultante puede ser monitoreado. En otras palabras, el grupo de científicos que experimentan y teorizan en la frontera de la ciencia y que se han visto involucrados en controversias científicas también reflejará el consenso creciente que resulta de dicha controversia. El mismo "grupo central" de científicos puede ser estudiado tanto en la primera como en la segunda etapa del PER. Pero, para los propósitos de la tercera etapa, la noción de "núcleo central" puede ser demasiado limitada.

<sup>27</sup> Trabajos que pueden ser clasificados dentro del PER han sido desarrollados primariamente por Collins, Pinch y Travis en el Centro de Estudios de la Ciencia, de la Universidad de Bath, y Pickering en la Unidad de Estudios de la Ciencia, de la Universidad de Edimburgo.

## La construcción social de tecnología (CST)

Antes de esbozar algunos de los conceptos que Bijker y sus colaboradores han hallado fructíferos en sus estudios sobre sociología de la tecnología, señalaremos un desequilibrio entre las dos aproximaciones (PER y CST) que estamos considerando. El PER es parte de una tradición floreciente en la sociología del conocimiento científico: es un programa bien establecido, apoyado en mucha investigación empírica. En contraste, la sociología de la tecnología es un campo embrionario sin tradiciones de investigación bien establecidas. La aproximación que trazamos específicamente (CST), si bien está ganando impulso, está solo en sus primeras etapas empíricas.<sup>28</sup>

En la CST el proceso de desarrollo de un artefacto tecnológico es descrito como una alternancia entre variación y selección.<sup>29</sup> Esto resulta en un modelo “multidireccional”, en contraste con los modelos lineales usados explícitamente en muchos estudios sobre innovación e, implícitamente, en muchos estudios de historia de la tecnología. Dicha perspectiva multidireccional es esencial para cualquier descripción de la tecnología a partir del constructivismo social. Por supuesto, para una mirada retrospectiva, es posible colapsar el modelo multidireccional en un modelo lineal simple, pero esto debilita nuestra argumentación, que es que las etapas “exitosas” en el desarrollo no son las únicas posibles.

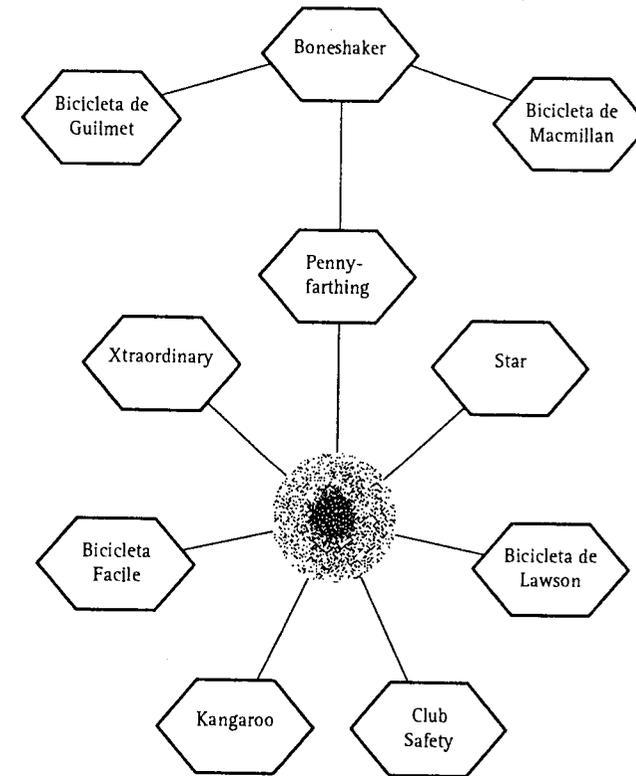
Consideremos el desarrollo de la bicicleta.<sup>30</sup> Aplicada al nivel de

<sup>28</sup> Véase por ejemplo, Bijker y Pinch (1983) y Bijker (1984 y en este volumen). Los estudios de Van der Belt (1985), Schot (1985, 1986), Jelsma y Smith (1986) y Elsen (1985, 1986) también están basados en la CST.

<sup>29</sup> Constant (1980) usó una aproximación evolutiva similar. Tanto el modelo de Constant como el nuestro parecen surgir por fuera de la epistemología evolucionista; véase por ejemplo, Toulmin (1972) y Campbell (1974). Elster (1983) da una revisión de los modelos evolucionistas del cambio técnico. Véase también Van den Belt y Rip (1987).

<sup>30</sup> Puede ser útil señalar explícitamente que consideramos en toda su plenitud a las bicicletas como una tecnología de igual modo que consideramos una tecnología a los automóviles o a los aviones. Puede ser de una ayuda para lectores que no viven en países habituados a las bicicletas (como los Países Bajos, Francia o Gran Bretaña) señalar que tanto la industria del automóvil como la industria aeronáutica son, de algún modo, descendientes de la industria de la bicicleta. Muchos nombres son compartidos por la historia de la bicicleta y el automóvil: Triumph, Rover, Humber y Raleigh, para mencionar

Figura 2. Una perspectiva multidireccional del proceso de desarrollo de la bicicleta Penny-farthing. El área sombreada es llenada y magnificada en la figura 11. Los hexágonos simbolizan artefactos

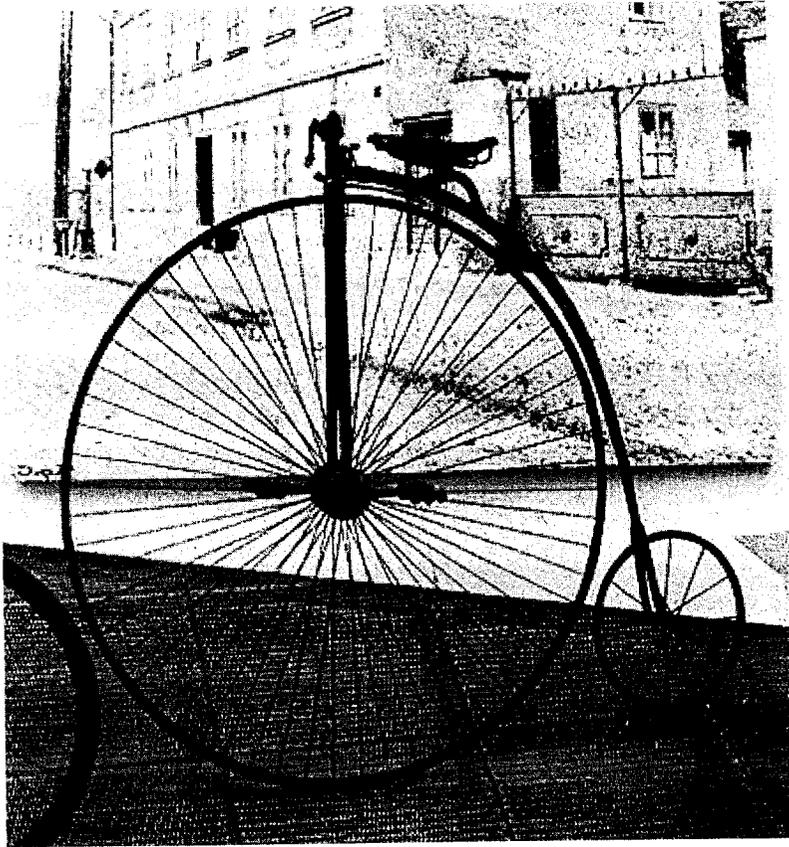


los artefactos, esta perspectiva multidireccional resulta en la descripción resumida en la figura 2.

Aquí vemos el artefacto “Ordinary” (o, como fue apodada cuando devino menos ordinaria, la “Penny-farthing”. Figura 3) y un rango

solo a unos pocos (Caunter, 1955, 1957). Los hermanos Wright manufacturaron y vendieron bicicletas antes de empezar a construir máquinas voladoras –en su mayor parte construidas a partir de partes de bicicletas– (Gibbs-Smith, 1960).

Figura 3. Una típica Penny-farthing, la Bayliss-Thomson Ordinary (1878)



de posibles variaciones. Es importante reconocer que, en la mirada de los actores de esos días, estas variantes eran al mismo tiempo bastante distintas unas de otras y también serias rivales. Es solo por la distorsión retrospectiva que emerge un desarrollo cuasi lineal, tal como es descrito en la figura 4. En esta representación las así llamadas ordinarias seguras (Xtraordinary, 1878; Facile, 1879, y Club Safety, 1885) figuran solo como entretenidas aberraciones que no deben ser tomadas seriamente (figuras 5, 6 y 7). Una descripción retrospectiva

Figura 4. La perspectiva cuasi lineal del proceso de desarrollo de la bicicleta Penny-farthing. Las líneas continuas indican desarrollos exitosos, y las líneas cortadas indican los desarrollos fracasados

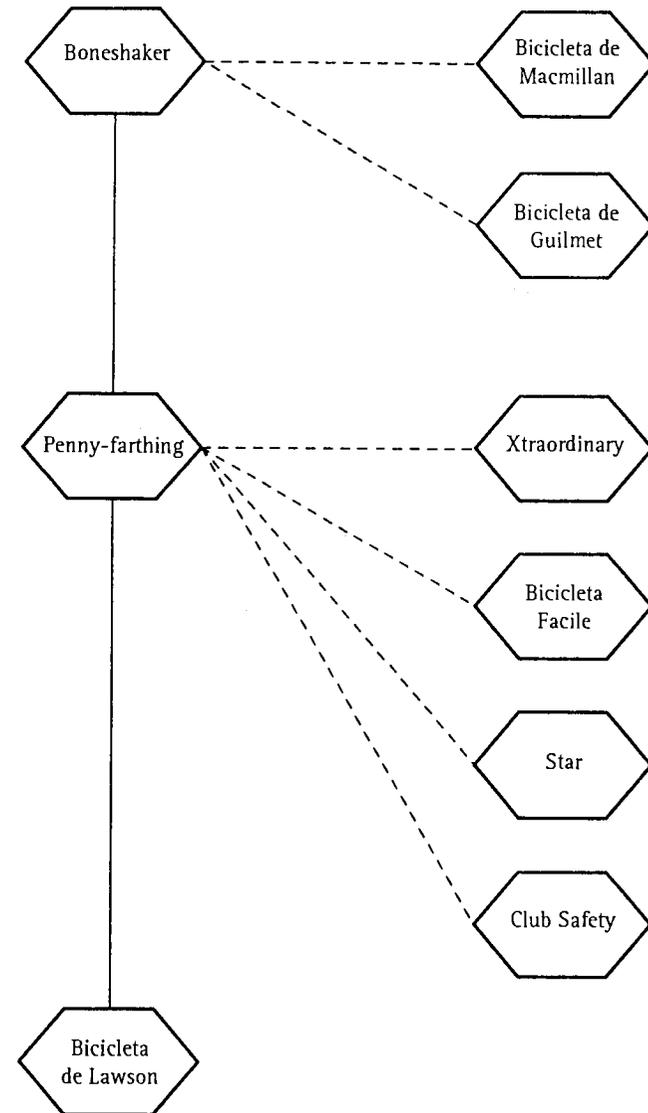
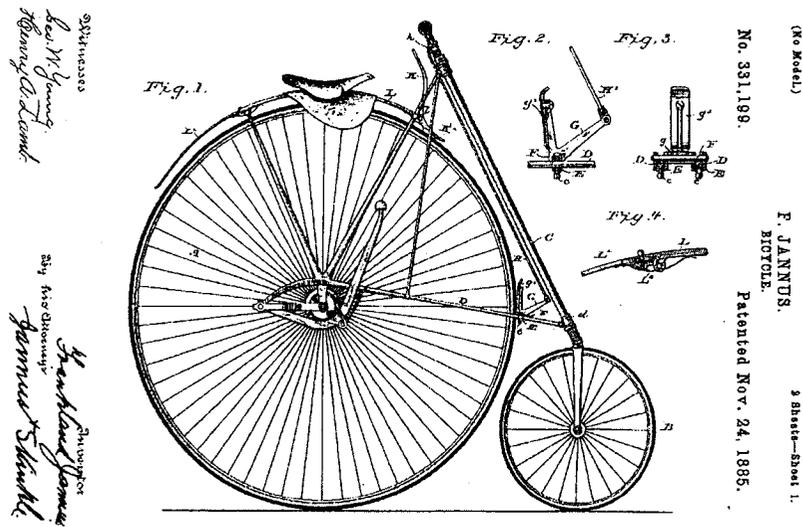


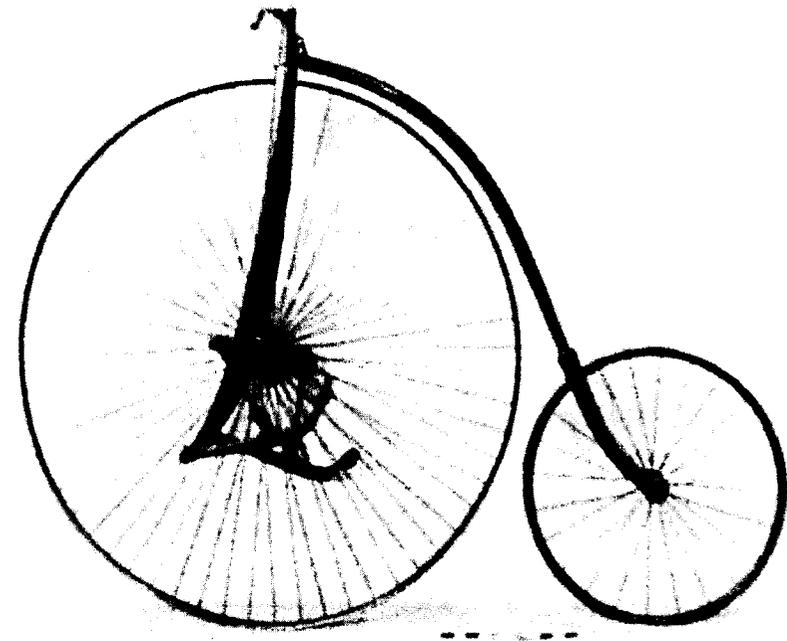
Figura 5. La bicicleta norteamericana Star (1885)



de este tipo puede ser desafiada observando la situación existente hacia 1880. Algunas de las “ordinarias seguras” eran producidas comercialmente, mientras que la bicicleta de Lawson, que pareciera tener un importante papel en el modelo lineal, probó ser un fracaso comercial (Woodforde, 1970).

Sin embargo, si se adopta un modelo multidireccional, es posible preguntar por qué algunas de las variantes “mueren”, mientras que otras “sobreviven”. Para iluminar esta parte “selectiva” del proceso de desarrollo se deben considerar los problemas y las soluciones presentadas por cada artefacto en momentos particulares. La racionalidad de este movimiento es la misma que lleva a focalizarse en las controversias científicas dentro del PER. De este modo se puede poner en escena de modo más claro la flexibilidad interpretativa de los artefactos tecnológicos.

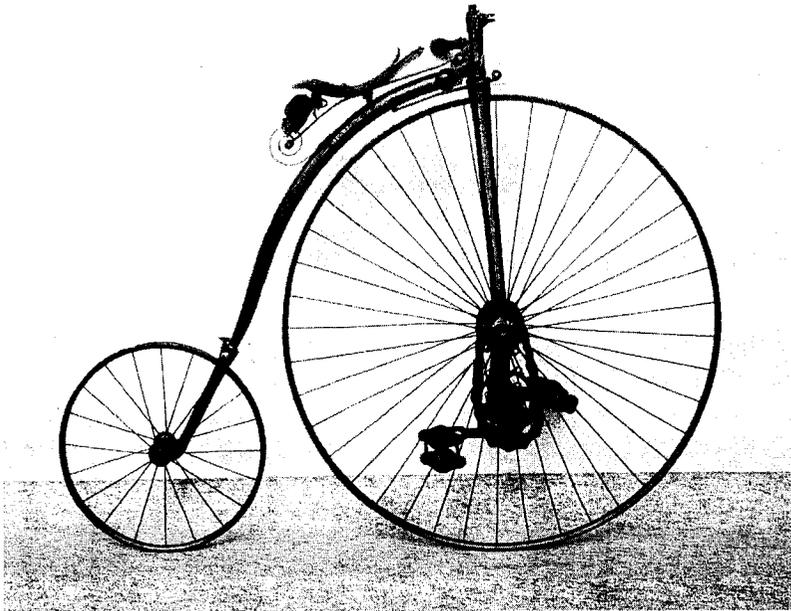
Figura 6. Bicicleta Facile (1874)



Al decidir qué problemas son relevantes, los grupos sociales implicados con el artefacto y los significados que dichos grupos dan al artefacto juegan un papel crucial: un problema es definido como tal solo cuando hay un grupo social para el cual el mismo constituye un “problema”.

El uso del concepto de grupo social relevante es bastante frontal. La frase es utilizada para denotar instituciones y organizaciones (como los militares o alguna compañía industrial específica), así como grupos de individuos organizados o desorganizados. El requerimiento clave es que todos los miembros de un determinado grupo social compartan el mismo conjunto de significados, vinculados a un

Figura 7. Una forma de la Kangaroo bicycle (1878)



artefacto específico.<sup>31</sup> Al decidir qué grupos sociales son relevantes, primero debemos preguntar si el artefacto posee algún significado para los miembros del grupo social bajo investigación.

Obviamente el grupo social de los “consumidores” o “usuarios” del artefacto llena este requerimiento. Pero también otros grupos sociales menos obvios deben ser incluidos. En el caso de la bicicleta, uno debe tener en cuenta a los “anticiclistas”. Sus acciones van desde los aplausos burlones hasta métodos más destructivos. Por ejemplo, el

<sup>31</sup> No hay una receta de cocina para identificar un grupo social. Instrumentos cuantitativos utilizando citas pueden ser de alguna ayuda en ciertos casos. Se requiere más investigación para desarrollar operacionalizaciones de la noción de “grupo social relevante”. Véase también Law (1987) acerca de la demarcación de redes y Bijker, en este volumen.

reverendo L. Meadows White describió dicha resistencia a la bicicleta en su libro, *A Photographic Tour on Wheels*:

[...] pero cuando a las palabras se le agregan hechos, y las piedras son arrojadas, los palos empujados en las ruedas, o los sombreros arrojados en la maquinaria, la imagen tiene otro aspecto. Todo lo anterior es habitual en ciertos distritos, y todo ello me ha ocurrido, especialmente cuando paso a través de un pueblo justo después que la escuela ha sido cerrada (Meadows, citado en Woodforde, 1970, pp. 49-50).

¡Claramente, para los anticiclistas el artefacto “bicicleta” ha adquirido significado!

Otra pregunta que necesitamos contestar es si un grupo social provisionalmente definido es homogéneo respecto a los significados dados a un artefacto –o si es más efectivo describir el proceso de desarrollo dividiendo un grupo un poco heterogéneo en varios grupos sociales diferentes. De tal modo, dentro del grupo de los usuarios de bicicletas, discernimos un grupo social separado de mujeres ciclistas. Durante la época de la bicicleta Ordinary, que poseía una rueda muy alta, no se suponía que las mujeres debieran montar en bicicleta. Por ejemplo, en una columna de avisos de una revista (1885) se proclama, en respuesta a la carta de una joven dama: “El mero hecho de conducir una bicicleta no es en sí pecaminoso, y si es el único medio de llegar a la iglesia un domingo, puede ser excusado” (citado en Woodforde, 1970, p. 122).

Los triciclos eran las máquinas permitidas para las mujeres. Pero los ingenieros y los productores anticiparon la importancia de las mujeres como potenciales ciclistas. En una revisión de la Exhibición de Bicicletas Stanley en 1890, el autor observa:

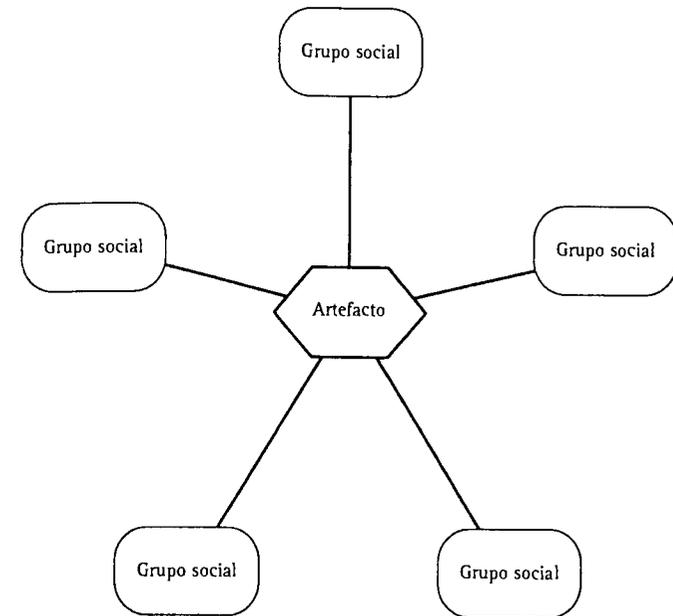
A partir del número de salvaguardas adaptadas para el uso de las damas, pareciera que el ciclismo estuviera deviniendo popular a través del sexo débil, y no nos sorprende, si se considera el esfuerzo ahorrado a través del uso de una máquina cuando se tiene cierta lasitud (Stanley Exhibition of Cycles, 1890, pp. 107-108).

De tal modo algunas partes del desarrollo de las bicicletas pueden ser explicadas mejor incluyendo un grupo social separado de usuarios femeninos de bicicletas. Esto no necesita hacerse, por supuesto, en otros casos: por ejemplo, no parece útil considerar un grupo social separado de mujeres usuarias de lámparas fluorescentes.

Una vez que los grupos sociales relevantes han sido identificados, se los describe con más detalle. Es aquí también cuando entran en la descripción, si son relevantes, aspectos como el poder o la fuerza económica. Si bien la única propiedad definitoria es algún significado homogéneo dado a cierto artefacto, la intención no es solo retraerse a gastados enunciados acerca de “consumidores” y “productores”. Necesitamos una descripción detallada de los grupos sociales relevantes para definir mejor la función del artefacto para cada grupo. Sin esto no se puede esperar dar ninguna explicación del proceso de desarrollo. Por ejemplo, el grupo social de ciclistas que conducía la bicicleta Ordinary consistía en “hombres jóvenes de medios y vigorosos: deben ser profesionales, oficinistas, maestros de escuela o caballeros” (Woodforde, 1970, p. 47). Para este grupo social la función primaria de la bicicleta era el deporte. El siguiente comentario del *Daily Telegraph* (septiembre 7 de 1877) enfatiza el deporte más que el transporte: “El ciclismo es un ejercicio saludable y varonil que tiene mucho para ser recomendado, y, a diferencia de otras locuras, no ha muerto” (citado en Woodforde, 1970, p. 122).

Volvamos ahora a la exposición del modelo. Habiendo identificado los grupos sociales relevantes para un determinado artefacto (figura 8), estamos especialmente interesados en los problemas que cada grupo tiene respecto a ese artefacto (figura 9). Alrededor de cada problema pueden identificarse diversas variantes para solucionarlo (figura 10). En el caso de la bicicleta, algunos problemas y soluciones relevantes se muestran en la figura 11, en la cual se ha llenado el área sombreada de la figura 2. Esta forma de describir el proceso de desarrollo muestra con claridad toda clase de conflictos: la conflictividad de los requerimientos técnicos de cada grupo social (por ejemplo, los requisitos de velocidad y de seguridad); los conflictos entre las distintas soluciones al mismo problema (por

Figura 8. La relación entre un artefacto y los grupos sociales relevantes

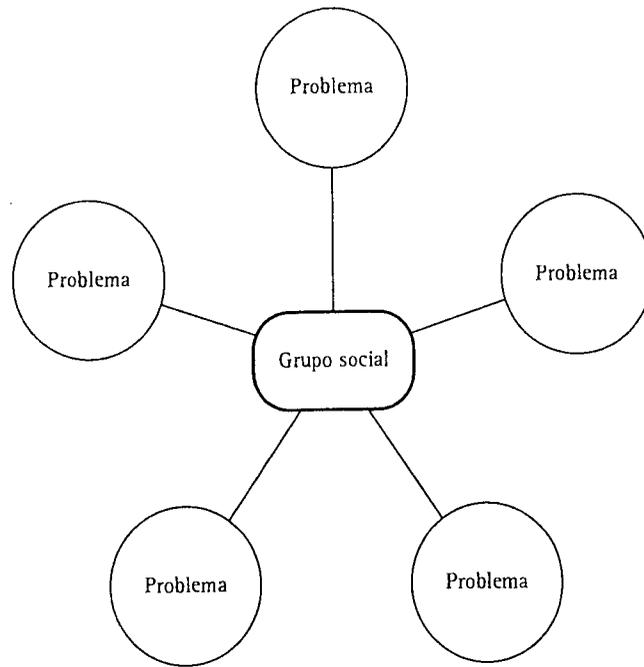


ejemplo, la seguridad de las ruedas altas o bajas); y los conflictos morales (por ejemplo, mujeres vistiendo faldas o pantalones en las bicicletas con ruedas altas; véase figura 12). Dentro de este esquema son posibles diversas soluciones a estos conflictos y problemas, no solo soluciones tecnológicas sino también judiciales o incluso morales (por ejemplo, el cambio de actitudes frente a las mujeres que usan pantalones).

Siguiendo el proceso de desarrollo de este modo, vemos grados crecientes y decrecientes de estabilización de los diversos artefactos.<sup>32</sup>

<sup>32</sup> Previamente han sido usados dos conceptos que pueden ser comprendidos como dos conceptos distintivos dentro de la idea más amplia de estabilización (Bijker *et al.*, 1984). *Reificación* fue utilizado para denotar la existencia social –existencia en la conciencia de los miembros de un determinado grupo social. *Estabilización económica* fue usado para indicar la existencia económica de un artefacto –teniendo un mercado.

Figura 9. Relación entre un grupo social y los problemas percibidos



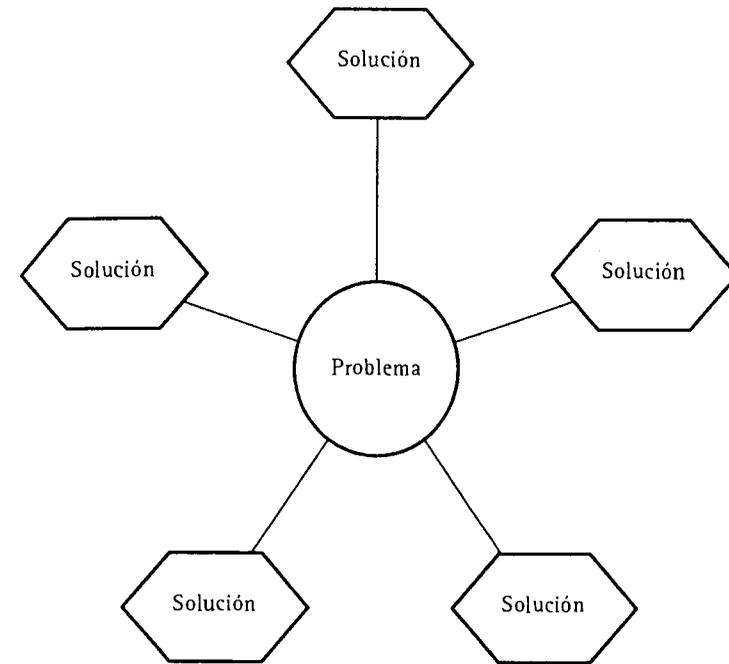
En principio, el grado de estabilización varía en diferentes grupos sociales. Utilizando el concepto de estabilización, vemos que la “invención” de la bicicleta Safety<sup>33</sup> no fue un evento aislado (1884), sino un proceso que llevó diecinueve años (1879-1898). Por ejemplo, al comienzo de este período los grupos relevantes no vieron la “bicicleta Safety”<sup>34</sup> sino un amplio espectro de bi y triciclos -y, entre ellos, una

Ambos conceptos son usados de un modo continuo y relativo, requiriendo frases tales como “el grado de reificación de la rueda alta *es más alto* en el grupo de hombres jóvenes de medios y vigor que en el grupo de los hombres de más edad”.

<sup>33</sup> La bicicleta modelo Safety es la bicicleta tal como la conocemos hoy, con ruedas de tamaño mediano y de igual diámetro, y con tracción trasera, piñón-corona.

<sup>34</sup> Véase nota 33.

Figura 10. La relación un problema y sus posibles soluciones



bicicleta bastante fea con aspecto de cocodrilo con una rueda frontal relativamente baja y cadena trasera impulsora (Lawson’s Bicycleette; véase figura 13). Para el final de este período, la frase “bicicleta segura” denotaba una bicicleta con ruedas bajas con una cadena trasera impulsora, un cuadro con forma de diamante y neumáticos con cámara. Como resultado de la estabilización después de 1898, no hizo falta especificar esos detalles: se tomaba por sentado que estos eran los “ingredientes” esenciales de la bicicleta segura.

Queremos enfatizar que nuestro modelo no es utilizado como un modelo en el cual los datos empíricos deban ser forzados, *coûte que coûte*. El modelo ha sido desarrollado a partir de una serie de estudios

Figura 11. Algunos de los grupos sociales, problemas y soluciones en el proceso de desarrollo de la bicicleta Penny-farthing. Debido a la falta de espacio no se incluyen todos los elementos identificados

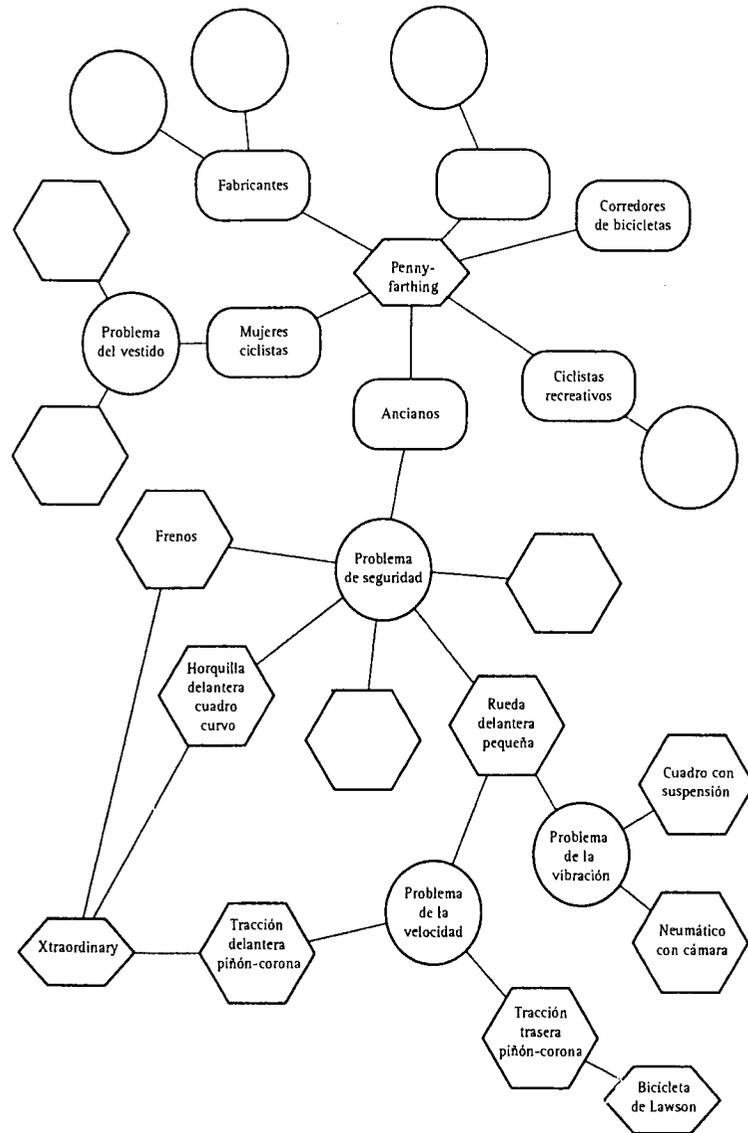
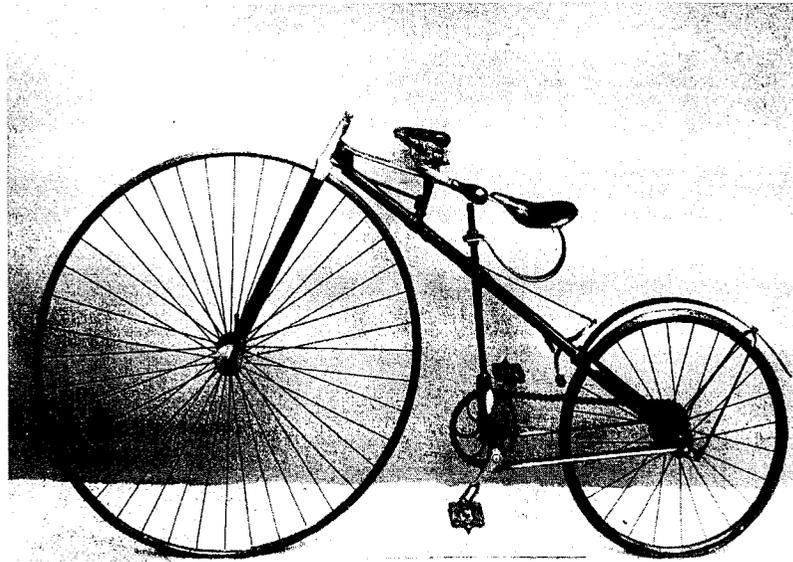


Figura 12. Una solución para el problema de la vestimenta femenina con respecto a la bicicleta con rueda alta delantera. Obviamente esta solución de diseño considera aspectos técnicos y atléticos. Contemplando la imagen, se tiene la impresión de que la operación de la bicicleta para mujeres no era simple, desde el punto de vista. El carácter estático y forzado de la fotografía (las bicicletas están sujetas con tensores) sugiere un uso práctico bastante dificultoso



Figura 13. Bicicleta de Lawson



de caso y no a partir de un análisis puramente teórico o filosófico. Su función es primariamente heurística –mostrar todos los aspectos que sean relevantes para nuestros propósitos. Esto no quiere decir que no haya objetivos explicativos o teóricos análogos a las diferentes etapas del PER (Bijker, 1984 y este volumen). Y en verdad, como hemos mostrado, este modelo hace algo más que describir el desarrollo tecnológico: ilumina su carácter multidireccional. Como será indicado, también presenta la flexibilidad interpretativa de los artefactos tecnológicos y el papel que los distintos mecanismos de clausura pueden jugar en la estabilización de los artefactos.

## LA CONSTRUCCIÓN SOCIAL DE HECHOS Y ARTEFACTOS

Habiendo descrito las dos aproximaciones al estudio de la ciencia y la tecnología que queríamos presentar, ahora discutiremos con más detalles los paralelos existentes entre ellas. Como forma de poner algo de sustancia en la discusión que planteamos, presentamos ilustraciones empíricas provenientes de nuestras propias investigaciones allí donde es apropiado.

### Flexibilidad interpretativa

La primera etapa del PER involucra la demostración de la flexibilidad interpretativa de los hechos científicos. En otras palabras, debe mostrarse que los científicos disponen interpretaciones diferentes de la naturaleza y por ello la naturaleza por sí misma no resuelve de manera determinante los debates científicos.<sup>35</sup>

En la CST el equivalente a la primera etapa del PER pareciera ser la demostración de que los artefactos tecnológicos son construidos e interpretados culturalmente; en otras palabras, debe mostrarse la flexibilidad interpretativa de los artefactos tecnológicos. No queremos decir con esto que existe flexibilidad solo en el modo en que la gente piensa o interpreta los artefactos, sino también que existe flexibilidad en el modo en que los artefactos son *diseñados*. No existe un solo modo o “el mejor modo” para diseñar un artefacto. En principio esto podría demostrarse del mismo modo que para la ciencia, es decir, entrevistando tecnólogos involucrados en una controversia tecnológica actual. Por ejemplo, podemos imaginar que si se hubieran realizado entrevistas a los ingenieros de bicicletas en 1890 estaríamos en condiciones de mostrar la flexibilidad interpretativa del artefacto “neumático con cámara”. Para algunos este artefacto era una solución al problema de la vibración de los vehículos con ruedas pequeñas:

<sup>35</sup> El uso de conceptos como flexibilidad interpretativa y clausura retórica en los estudios sobre ciencia es ilustrado por Pinch y Bijker (1984).

[El neumático con cámara fue] diseñado con la perspectiva de proporcionar más facilidades para los pasajeros de los vehículos con ruedas –principalmente los más livianos, como velocípedos, sillas para inválidos, ambulancias– en rutas y caminos, sobre todo cuando estos últimos son de carácter tosco y desigual (Dunlop, 1888, p. 1).

Para otros, el neumático con cámara era un modo de ir más rápido (esto es desarrollado con más detalle más adelante). Aun para otro grupo de ingenieros era un modo desagradable de hacer las ruedas bajas todavía más inseguras de lo que ya eran (debido al deslizamiento hacia los costados). Por ejemplo, el siguiente comentario, que describe la Stanley Exhibition of Cycles, es revelador:

La innovación más conspicua en la construcción de bicicletas es el uso de los neumáticos con cámara. Estos neumáticos son huecos, poseen aproximadamente dos pulgadas de ancho, y son inflados por medio del uso de una pequeña bomba de aire. Se dice que los mismos proveen una conducción más cómoda, reduciendo el más grosero macadán y los guijarros al asfalto más suave. No habiendo tenido oportunidad de probar estos neumáticos, no estamos en condiciones de hablar de ellos desde la experiencia práctica; pero mirándolos desde un punto de vista teórico, opinamos que se experimentará una considerable dificultad en mantener las ruedas lo suficientemente infladas. Es difícil tratar con el aire a presión. A partir de los informes de quienes han usado estos neumáticos, pareciera que los mismos están prestos a deslizarse en los caminos lodosos. Si esto es así, tememos que su uso en las bicicletas seguras de tracción trasera –las cuales son todas más o menos tendientes a deslizarse de costado– está fuera de cuestión, dado que el objetivo de cualquier mejora en esta línea debiera ser prevenir ese deslizamiento y no incrementarlo. Aparte de estos defectos, la apariencia de estos neumáticos destruye la simetría y la gracia de una bicicleta, y esto solo es, pensamos, suficiente para prevenir su incorporación en el uso general (Stanley Exhibition of Cycles, 1890, p. 107).

Figura 14. Cuadro con amortiguadores Whippet (1885)



Y en verdad, se pensaba que otros artefactos proveían una solución al problema de la vibración, tal como lo revela el siguiente comentario:

Con la introducción de la bicicleta segura de tracción trasera ha crecido la demanda de dispositivos antivibratorios, dado que las pequeñas ruedas de estas máquinas conducen una considerable vibración, incluso en los mejores caminos. Prácticamente cualquier expositor de este tipo de máquina posee alguna aplicación destinada a suprimir la vibración (Stanley Exhibition of Cycles, 1889, pp. 157-158).

La mayoría de las soluciones involucraban el uso de resortes en el cuadro, la silla y el manubrio (figura 14). En 1896, incluso después de que la bi-

cicleta segura (y con ella, los neumáticos con cámara) alcanzaron un grado de estabilización, aún se vendían “cuadros con amortiguador”.

Es importante darse cuenta que esta demostración de la habilidad interpretativa por medio de entrevistas y fuentes históricas es solo uno del conjunto de los métodos posibles. Al menos en el caso de la tecnología es aplicable otro método (que en verdad ya ha sido utilizado). Es posible mostrar que distintos grupos sociales poseen interpretaciones radicalmente distintas de un artefacto tecnológico. Tomemos a estas diferencias “radicales” debido a que el contenido del artefacto parece estar involucrado. Es algo más que lo que Mulkay afirmó correctamente: que es fácil “mostrar que el significado de la televisión varía con, y depende de, el contexto social en el que se emplea”. Tal como lo señala Mulkay: “Es mucho más difícil encontrar qué cuenta para afirmar que un ‘estudio de televisión funciona’ que es de modo similar dependiente del contexto en cualquier caso significativo” (Mulkay, 1979a, p. 80).

Creemos que nuestra explicación –en la cual las diversas interpretaciones de los grupos sociales acerca del contenido de los artefactos conducen por diversas cadenas de problemas y soluciones a distintos desarrollos posteriores– involucra el contenido del artefacto en sí mismo. Nuestro ejemplo anterior acerca del desarrollo de la bicicleta segura es de este tipo. Otro ejemplo son las variaciones respecto a las ruedas altas. El significado de las bicicletas con ruedas altas –una bicicleta viril y de alta velocidad, llevó al desarrollo de bicicletas frontales más grandes –a partir de una determinada velocidad a un modo de alcanzar una velocidad de traslado más alta era algo que dependía del radio. Una de las últimas bicicletas que resultaron de esta línea de desarrollo fue la Rudge Ordinary de 1892, que poseía una rueda de 28 pulgadas y neumáticos con cámara. Pero grupos de mujeres y de hombres más ancianos dieron a esta bicicleta otro significado. Para ellos una característica más importante era su falta de seguridad:

Debido a la disparidad existente en el diámetro de las ruedas y al pequeño peso del cuadro y de la rueda trasera, así como a la posición

del conductor –prácticamente sobre el centro de la rueda delantera–, si la rueda mayor golpeaba un ladrillo o una piedra grande en el camino y el conductor no estaba preparado, el frenado súbito de la rueda usualmente lo arrojaba por encima del manubrio. Por esta razón la máquina era vista como peligrosa, y por más entusiasmado que se estuviera con la Ordinary –y yo fui en alguna ocasión un conductor entusiasta– no había posibilidad de negar que solo podía ser conducida por hombres comparativamente jóvenes y atléticos (Grew, 1921, p. 8).

Este significado llevó a disminuir la rueda frontal, hacer retroceder el asiento, y llevar la horquilla frontal a una posición menos vertical. Por medio de otra cadena de problemas y soluciones (véase figura 7), esto resultó en artefactos como la bicicleta de Lawson (1879) y la Xtraordinary (1878; véase figura 15).

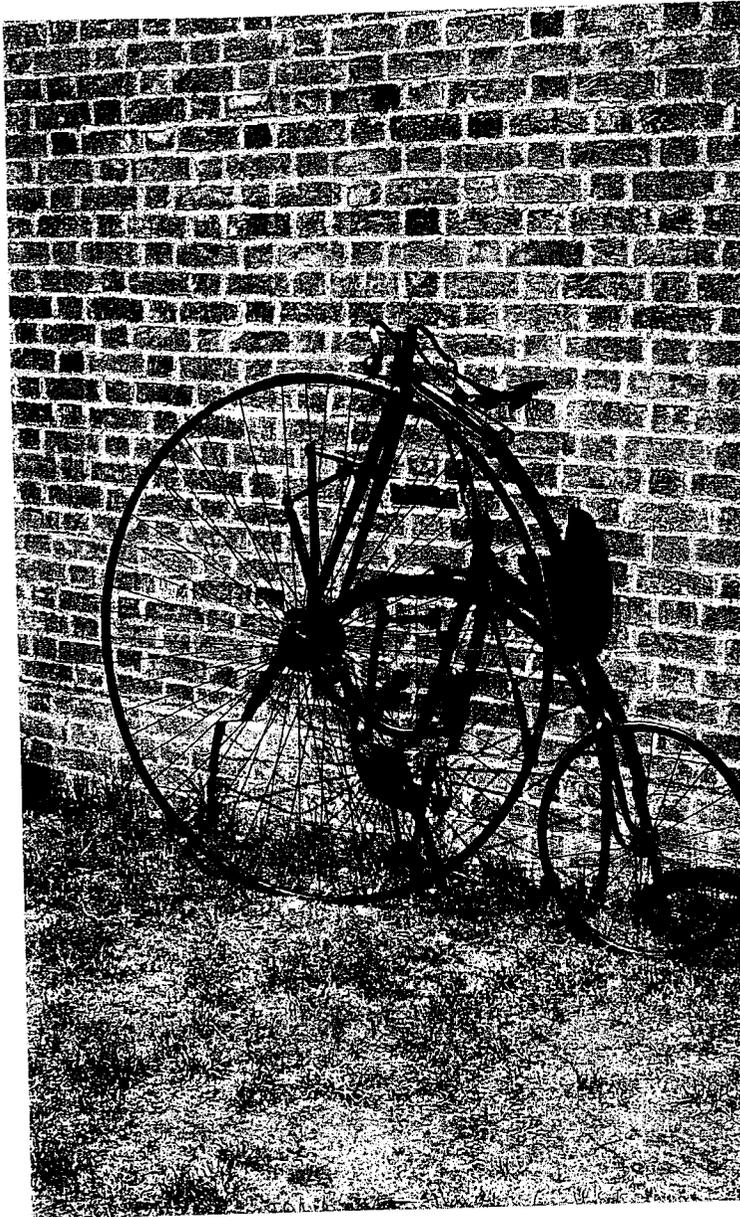
De tal modo no hubo una bicicleta con rueda alta. Existió la máquina para *macho*, que llevó a nuevos diseños de bicicletas con ruedas frontales aún más altas, y también existió la máquina *insegura*, que condujo a nuevos diseños de bicicletas con ruedas frontales más bajas, asientos más atrasados o con ruedas altas y bajas invertidas. De tal modo la flexibilidad interpretativa del artefacto Penny-farthing se materializa en líneas de diseños bastante distintas.

### Clausura y estabilización

La segunda etapa del PER involucra establecer un mapa de los mecanismos que permiten la clausura del debate –o, en la CST, para la estabilización de un artefacto. Ilustraremos ahora qué queremos decir por mecanismos de clausura dando ejemplos de dos tipos, que parecen haber jugado un papel en casos que nos resultan familiares. Nos referimos a los mecanismos particulares en los que nos focalizamos hablando de clausura retórica y clausura por redefinición del problema.

*Clausura retórica.* La clausura en la tecnología involucra la estabilización de un artefacto y la “desaparición” de problemas. Para cerrar una “controversia” tecnológica no se requiere *resolver* los problemas

Figura 15. Bicicleta Singer Xtraordinary



en el sentido común de esta palabra. El punto clave es si los grupos sociales relevantes *ven* resuelto el problema. En la tecnología, la publicidad puede jugar un papel importante en la formación del significado que un grupo social le da a un artefacto.<sup>36</sup> De tal modo, por ejemplo, se realizó un intento por “cerrar” la “controversia por la seguridad” de la bicicleta de rueda alta simplemente alegando que el artefacto era perfectamente seguro. En un aviso sobre la bicicleta “Facile” (¡sic!) (figura 16) se lee:

¡Ciclistas! Por qué arriesgar sus miembros y vidas en máquinas altas cuando la Facile de 40 o 42 pulgadas les da todas las ventajas de la otra junto con una seguridad casi absoluta (*Illustrated London News*, 1880; citado en Woodforde, 1970, p. 60).

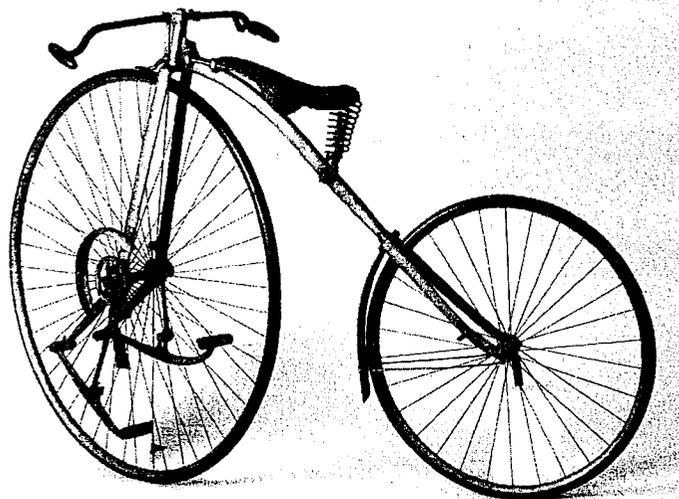
Esta afirmación acerca de la “seguridad casi absoluta” era un movimiento retórico, considerando la altura de la bicicleta y la posición delantera del conductor, lo cual era bien conocido por los ingenieros de la época como algo que presentaba problemas de seguridad.

*Clausura por redefinición del problema.* Hemos ya mencionado la controversia en torno al neumático con cámara. Para la mayoría de los ingenieros era una monstruosidad teórica y práctica. Para el público general, al principio significaba un feo accesorio antiestético:

Los muchachos de mensajería se reían de la rueda con forma de salchicha, las trabajadoras se retorcian de la gracia, incluso sobrios ciudadanos eran llevados de la congoja a la alegría ante un cómico diseño obviamente creado exclusivamente para iluminar la oscuridad de su rutina diaria (Woodforde, 1970, p. 89).

<sup>36</sup> La publicidad parece constituir una gran y potencialmente rica fuente de datos para los estudios sociales empíricos acerca de la tecnología. La consideración de que los publicistas profesionales toman en cuenta la existencia de distintos “grupos de consumidores” obviamente se adecua a nuestro concepto de grupos relevantes diferenciados. Véase por ejemplo, Schwartz Cowan (1983) y Bijker, en este volumen.

Figura 16. Geared Facile bicycle (1888)



Para Dunlop y otros protagonistas de los neumáticos con aire, los mos significaban originalmente una solución al problema de la v ción. Sin embargo, el grupo de ciclistas deportivos no aceptaba este fuese un problema. La vibración presentaba solo un proble los (potenciales) usuarios de bicicletas con ruedas bajas. Tres gr sociales importantes estaban por lo tanto en contra de los neumá con aire. Pero entonces los neumáticos con aire fueron colocad una bicicleta de carrera. Cuando, por primera vez, los neumáticos ron utilizados en un circuito de carrera, su entrada fue saludad una risa burlona. La misma fue silenciada rápidamente, sin emb debido a la alta velocidad alcanzada, y solo quedó el asombro cu

la bicicleta sobrepasó a todos sus rivales (Croom, 1939). Muy pronto se debió dar ventaja a las bicicletas con ruedas altas si entraban en la competencia conductores con bicicletas con ruedas bajas y neumáticos con aire. Luego de un corto período ningún corredor con pretensiones dudó en competir con otra cosa (Grew, 1921).

¿Qué había pasado? Respecto a dos grupos importantes, los deportistas y el público general, la clausura se había alcanzado, pero no convenciéndolos de la posibilidad de usar los neumáticos con aire de acuerdo a su significado como dispositivo antivibratorio. Se podría decir, pensamos, que el significado de los neumáticos con aire fue traducido<sup>37</sup> para constituir una solución a otro problema muy distinto: el problema de cómo ir lo más rápido posible. Y de tal modo, redefiniendo el problema central respecto al cual el artefacto debió significar una solución, la clausura fue alcanzada por dos de los grupos sociales relevantes. El modo en que el tercer grupo, los ingenieros, aceptaron el neumático con aire es otra historia que no necesita ser contada aquí.

Por supuesto, no hay nada "natural" o "lógicamente necesario" en esta forma de clausura. Puede argumentarse que la velocidad no era la característica más importante de la bicicleta, que las carreras de bicicletas no eran apropiadas para probar la velocidad "real" de una bicicleta (después de todo, el mundo ideal de las pistas de carrera puede no ajustarse a las condiciones reales de las rutas, del mismo modo que un auto de carreras de Fórmula 1 no se sustenta en los requerimientos de un auto familiar promedio). Aún así, las carreras de bicicletas han jugado un importante papel en el desarrollo de la bicicleta. Y, dado que las carreras pueden ser vistas como una forma específica de prueba, esta observación está en relación con el reciente llamado de atención de Constant, quien enfatiza la necesidad de prestar más atención a los procedimientos de prueba al estudiar la tecnología (Constant, 1983).

<sup>37</sup> El concepto de traducción es fructíferamente utilizado de un modo extenso por Callon (1980b, 1981b, 1986), Callon y Law (1982) y Latour (1983, 1984).

## El contexto más amplio

Finalmente llegamos a la tercera etapa de nuestro programa de investigación. En el área de la tecnología, la tarea pareciera ser la misma en la ciencia: vincular el contenido de un artefacto tecnológico medio sociopolítico más amplio. Este aspecto aún no ha sido tratado para el caso de la ciencia,<sup>38</sup> al menos en estudios sociológicos contemporáneos.<sup>39</sup> Sin embargo, el método de la CST, de describir artefactos tecnológicos focalizando los significados dados a los mismos por los grupos sociales relevantes, sugiere un paso más adelante. Obviamente la situación política y sociocultural de un grupo define su forma sus normas y valores, lo cual a su vez influye en el significado que se le da a un artefacto. Debido a que hemos mostrado cuántos significados pueden constituir las diferentes líneas de desarrollo de una tecnología, el modelo descriptivo de la CST parece ser una operacionalización de la relación entre el medio más amplio contenido actual de una tecnología. Para seguir esta línea de análisis véase Bijker, en este volumen.

## CONCLUSIÓN

En este capítulo hemos estado interesados en esbozar una aproximación integrada del estudio empírico de la ciencia y de la tecnología desde la perspectiva del constructivismo social. Hemos revisado algunos cuerpos de bibliografía relevante y diversas líneas de argumentación. Hemos indicado que la perspectiva del constructivismo social es una tradición floreciente dentro de la tecnología de la ciencia y que la misma muestra promesas de una aplicación más amplia. Hemos re-

<sup>38</sup> Un modelo de dicha explicación de "nivel 3" se ofrece en Collins (1985).

<sup>39</sup> Los estudios históricos que se orientan a esta tercera etapa pueden ser útiles para este caso. Véase, por ejemplo, MacKenzie (1978), Shapin (1979, 1984) y Schaffer (1985).

la literatura acerca de la relación entre la ciencia y la tecnología, y hemos mostrado que aquí también el constructivismo social está comenzando a dar sus frutos. Hemos revisado además las principales tradiciones en los estudios sobre tecnología. Hemos argumentado que los estudios sobre innovación y mucho de la historia de la tecnología son inadecuados para nuestros propósitos sociológicos. Hemos discutido algunos trabajos recientes en sociología de la tecnología y hemos notado signos estimulantes acerca de la emergencia inicial de una nueva ola de estudios de caso basados en el constructivismo social.

Luego hemos desarrollado con mayor detalle las dos perspectivas —una en la sociología del conocimiento científico (PER) y una en el campo de la sociología de la tecnología (CST)— en las cuales basamos nuestra perspectiva integrada. Finalmente indicamos la semejanza de las metas explicativas de las dos perspectivas, e ilustramos estas metas con algunos ejemplos traídos de la tecnología. En particular hemos visto que en el estudio social de la tecnología se le puede dar base empírica a los conceptos de flexibilidad interpretativa, mecanismo de clausura, así como a la noción de grupo social relevante.

Tal como lo hemos notado a lo largo de este artículo, la sociología de la tecnología está aún subdesarrollada en comparación con la sociología del conocimiento científico. Sería una vergüenza si los avances generados en este último campo no pudieran ser utilizados para echar luz en el estudio de la tecnología. Por el otro lado, en nuestros estudios de la tecnología pareciera ser fructífero incluir diversos grupos sociales en el análisis, y existen algunas indicaciones de que este método puede también tener frutos para el estudio social de la ciencia. De tal modo nuestra perspectiva integrada indica cómo la sociología de la ciencia y la sociología de la tecnología pueden beneficiarse una a la otra.

Pero existe otra razón —tal vez más importante— para argumentar a favor de una aproximación integrada. Y esto nos lleva a la pregunta que algunos lectores pueden haber esperado que tratáramos en el primer párrafo del trabajo, es decir, la pregunta acerca de cómo distinguir la ciencia de la tecnología. Pensamos que es bastante poco fructífero

hacer esta distinción *a priori*. En cambio, parece más valioso como con nociones de la ciencia y la tecnología provenientes del ser común y estudiarlas de modo integrado, tal como lo hemos propuesto. Cualesquiera sean las diferencias que puedan interesar, las mismas ganarán contraste dentro de tal programa. Esto será otro resultado concreto del estudio integrado de la construcción social de los hechos y de los artefactos.

## La construcción social de la baquelita: hacia una teoría de la invención\*

Wiebe E. Bijker

El objetivo de este trabajo es avanzar sobre ciertos conceptos teóricos orientados a comprender el proceso de desarrollo de los artefactos tecnológicos.<sup>1</sup> La aproximación que sugiero extiende el análisis del desarrollo propio del constructivismo social, perfilado por Pinch y Bijker (véase en este volumen). En el trabajo anterior, propusimos un modelo descriptivo que se focalizaba en los diversos significados atribuidos a un artefacto por los diversos grupos sociales. Esto nos permitía dar una explicación simétrica de los artefactos "exitosos" y "fracasados", y también tenía la ventaja de incorporar tanto elementos técnicos como no técnicos en la descripción. En este artículo desarrollo el modelo un paso más allá, considerando aspectos de la historia de la baquelita.

El trabajo está compuesto por cuatro partes. En la primera sección describo la historia temprana de los plásticos. Para mis propósitos, aquí el énfasis no está en los detalles históricos, sino en la presentación

\* Publicado originalmente como "The Social Construction of Bakelite: Toward a Theory of Invention", en Bijker, W. E., T. P. Hughes y T. J. Pinch (eds.) (1987), *The Social Construction of Technological Systems. New Directions in the Sociology and History of Technology*, Cambridge, The MIT Press.

<sup>1</sup> Agradezco a Michel Callon, Ed Constant, Ernst Homburg, Tom Hughes, Stephen Kline, Rachel Laudan, Simone Novaes, Trevor Pinch, Jeffrey Sturchio, Sharon Traweek, y mis colegas en De Boerderij por comentarios estimulantes sobre borradores previos de este artículo. Por supuesto, esta ayuda sustancial no me hace menos responsable de cualquier falla que haya en la argumentación. Quisiera dar las gracias a la Stiftung Volkswagen, de la República Federal Alemana, la Twente University of Technology y la Nederlandse Organisatie voor Zuiver-Wetenschappelijk Onderzoek (ZWO-Organización de los Países Bajos para el Avance de la Investigación Pura) por el apoyo financiero.

de algunos conceptos explicativos. En particular, se elabora la noción de flexibilidad interpretativa y se introducen por primera vez los conceptos de *marco tecnológico* (*technological frame*) e *inclusión*. El significado exacto de estos términos es el tópico de la segunda sección. En la tercera parte se pone alguna carne en los huesos de estos conceptos siguiendo la historia del plástico hasta alcanzar la era de la baquelita. Finalmente, en la cuarta sección sugiero un esquema más general para una teoría del desarrollo tecnológico.

#### UNA DESCRIPCIÓN DE LA HISTORIA DEL PLÁSTICO ANTES DE LA BAQUELITA

La historia del uso humano de materiales de plástico es tan larga como la historia de la humanidad en sí misma. Los egipcios usaban resinas, plásticos naturales, para barnizar sus sarcófagos, y los griegos hacían joyas con ámbar. Estas dos aplicaciones –la producción de barnices y pequeños objetos sólidos– han provisto y continúan generando importantes mercados para la industria plástica. Algunos de los plásticos naturales –tal como la laca– pueden ser usados para ambos propósitos, mientras que otros –tal como la goma– son utilizados solo para un propósito.

Hasta mediados del siglo XIX, el uso de los plásticos ha estado restringido al lujo y a los bienes de fantasía (desde cajas de perfume hasta joyas de marfil). La vulcanización de la goma, sin embargo, creó nuevos mercados. Durante el proceso de vulcanización la goma es calentada en presencia de sulfuro, que la torna más flexible y durable. Esto vuelve a la goma adecuada para un gran rango de aplicaciones. En la segunda mitad del siglo XIX, tanto la goma como la laca fueron crecientemente usadas como aislantes eléctricos, especialmente la “goma dura” también conocida como “vulcanita” o “ebonita”. Esta goma, a diferencia del proceso ordinario de vulcanización, es manufacturada mezclando un porcentaje más alto de sulfuro con la goma cruda, y fue usada para varios propósitos industriales nuevos. Ninguno de ellos había sido empleado el plástico natural más antiguo.

Más allá de su uso como material eléctrico aislante, la goma dura fue utilizada como revestimiento interno de aparatos químicos y acumuladores, y para la manufactura de instrumentos quirúrgicos y dientes artificiales. De tal modo, aún cuando los materiales plásticos habían sido restringidos al uso de joyas por parte de las clases superiores, ahora encontraron el favor de nuevos grupos sociales. Esto, sin embargo, creó un problema.

#### Un problema de escasez y tres variantes de solución

La localización exótica de las fuentes de la laca y la goma llevó a varios químicos y fabricantes a percibir la inminente escasez de plásticos naturales. “Estamos agotando los suministros de goma y gutapercha de la India, su demanda es ilimitada pero su oferta no”, remarcó el presidente de la junta de reuniones de la Royal Society of Arts en 1865 (citado por Kaufman, 1963, p. 33). En esta reunión Alexander Parkes dio una clase sobre su nuevo material plástico, la parquesina, que fue la primera de una serie de variantes producidas en un intento por resolver el problema de la escasez tratando de modificar la nitrocelulosa (Parkes, 1865). Otro incentivo importante para estos investigadores fue el objetivo de largo plazo de los inventores del siglo XIX, es decir, encontrar un sustituto para el marfil (Friedel, 1983).

La nitrocelulosa puede producirse de un modo bastante barato a partir de papel, fibras de madera o trapos. Su importancia como sustancia explosiva llamó inmediatamente la atención del mundo cuando el químico suizo Christian Friedrich Schönbein encontró un proceso de producción comercialmente viable en 1846. Algún tiempo después, varios químicos e inventores exploraron las posibilidades de disolver nitrato de celulosa en una mezcla de alcohol con éter. El “colodión”, como fue llamada esta solución, era un fluido claro con la consistencia de un jarabe que resultaba en una película transparente cuando era vertida y se dejaba secar. Fueron desarrolladas varias aplicaciones, tales como un emplastro para heridas, un medio para hacer tejidos impermeables y una base para materiales fotosintéticos.

Parkes fue el primero en intentar producir "un material pesado, fuerte, brillante" que pudiera ser cortado y moldeado a partir de la nitrocelulosa (Parkes, 1855). El desarrollo de un nuevo mercado para las aplicaciones técnicas del plástico (más allá del mercado tradicional de bienes de consumo lujosos) es ejemplificado por la política de negocios de Parkes. En muchas ocasiones al presentar su nuevo plástico, la parquesina, Parkes no distinguió claramente entre los diversos usos que se le podían dar: era utilizable tanto como un sustituto de los plásticos de lujo, tales como el marfil y el caparazón de tortuga, como para reemplazar sustancias industriales como la goma y la gutapercha (una sustancia similar a la goma pero que se obtenía de un árbol tropical distinto). Parkes puso el énfasis inicial en el uso de este material para la producción de artículos de fantasía. Por ejemplo, en la Exhibición Mundial de 1862, presentó medallones, botones, peines, artículos calados, embutidos y agujereados, lapiceras y lapiceros (Kaufman, 1963). Sin embargo, hacia 1866, cuando Parkes trató de persuadir a los inversores para que pusieran capital en la nueva Parkesine Company Inc., el prospecto mencionaba escasamente a la parquesina como un bello material para hacer "obras de arte", pero enfatizaba sus aplicaciones para hacer cilindros para cardar e hilar, aislar cables telefónicos, manufacturar tuberías y barnizar y revestir barcos de hierro (Friedel, 1979). En paralelo con este cambio de énfasis respecto a las aplicaciones en chucherías, Parkes trató de hacer su material lo más barato posible (Friedel, 1979; Dubois, 1972), pero ello no fue suficiente para conseguir la incorporación del nuevo grupo social de usuarios. Su entusiasmo por mostrar la aplicabilidad de la parquesina a una variedad de propósitos distintos significó que pusiera menos énfasis en encontrar una fórmula química digna de confianza para al menos una forma específica de parquesina. De tal modo, el plástico no fue producido con una calidad consistente, y un gran número de productos vendidos por la nueva compañía fueron devueltos como inaceptables debido a su contracción, torsión y deformación (Worden, 1911). En 1868 la Parkesine Company fue liquidada.

Una segunda variante de la nitrocelulosa plástica estaba vincula-

da cercanamente a la parquesina. El gerente de la Parkesine Company, Daniel Spill, atribuyó el fracaso de la parquesina a que sus materiales no eran lo suficientemente claros. Si se pudiera hacer más blanca, la parquesina aparecería como un sustituto más creíble del marfil. En 1869 Spill fundó otra compañía, y con cambios solo menores en el proceso de manufactura continuó la producción de lo que ahora era llamada xilonita. A esta operación no le fue mucho mejor que a la anterior, y fue abandonada en diciembre de 1874. Spill tenía una fe inamovible en su material y estableció otra compañía en 1875. Esta vez tuvo éxito en encontrar un mercado pequeño pero estable para lo que ahora llamó marfilina (Kaufman, 1963).

La tercera variante para solucionar el problema de escasez de los plásticos naturales fue desarrollada por John Wesley Hyatt en Albany, Nueva York. Tal como lo relata la historia popular, la investigación de Hyatt se disparó por la oferta de 10 mil dólares como premio a quien pudiera patentar un material sustituto del marfil para la manufactura de bolas de billar. Hyatt trató primero varias composiciones conocidas de plástico, como las fibras de madera laqueadas. Aún cuando esto no resultó un sustituto adecuado, una consecuencia importante fue que Hyatt se familiarizó con el proceso de moldear plásticos bajo el calor y la presión (Friedel, 1979). Esta experiencia hizo que Hyatt fuese consciente de los problemas de las soluciones líquidas de colodión (tales como las que habían usado Parkes y Spill): el proceso de secado causaba de manera inevitable una contracción, lo cual hacía difícil que éstas mezclas fueran usadas para moldear objetos sólidos. En sus propias palabras:

De mis experimentos iniciales con nitrocelulosa, incitado por el hallazgo incidental de un trozo seco de colodión del tamaño y espesor de una uña del pulgar, y por mis más serios esfuerzos por encontrar un sustituto para las bolas de billar de marfil, se hizo evidente que una solución semilíquida de nitrocelulosa (de la cual tres cuartas partes del total era un líquido volátil y el sólido final no era más que un cuarto de la mezcla original) estaba lejos de estar adaptada a la manufactura de artículos só-

lidos y que debía producir inicialmente una solución sólida por medios mecánicos (Hyatt, 1914, p. 158).

Luego de que Hyatt sacó varias patentes describiendo estos procesos, en 1870 salió una patente para referirse al “uso de una finamente penetrada goma de alcanfor mezclada por pulpa de piroxilina [nitrocelulosa] [...] [volviéndola] soluble por la aplicación de calor” (Hyatt, 1870). Solo muchos años después, cuando se involucró en litigios sobre patentes, Hyatt usó el término “solución líquida” para describir el material producido en una de sus primeras etapas del proceso de elaboración. Utilizó el término para presentar la diferencia crucial respecto a los plásticos de nitrocelulosa anteriores. Su solución líquida pareció –en su momento– ser más bien una mezcla húmeda:

Concebimos la idea de que era posible mezclar solventes de manera mecánica con la pulpa y la materia colorante cuando aún estaba húmeda, luego absorber la humedad con papeles secantes bajo presión, y luego someter la masa al calor y la presión (Hyatt, 1914, p. 159).

De cualquier modo, el uso posterior del término “solución” probablemente se añadió debido a la importancia que percibió en el papel de los solventes en la producción de celulosa. De manera irónica, Hyatt por sí mismo no mencionó el uso del alcanfor como solvente, solo como un aditivo. Junto con su hermano, Isaiah S. Hyatt, fundó la Albany Dental Plate Company en 1870. Anunciaron

un material recientemente inventado y patentado para dentaduras postizas o bases para dientes artificiales, que no puede dejar de encantar a todo dentista que desee un material mejor para este propósito que la goma dura (*The Dental Cosmos*, 13, 1871, citado en Fried, 1979, p. 53).

Las dentaduras postizas poseían varias imperfecciones. Algunas de ellas tenían un fuerte gusto a alcanfor, algunas se ablandaban en la boca (lo suficiente como para que se aflojaran los dientes), y las placas se

torcían después de ser ajustadas a la boca del paciente (Friedel, 1983). Aún cuando estas dentaduras postizas estaban lejos de ser satisfactorias, el esfuerzo concertado de producir un material con cualidades específicas, consistentes, resultó en la formación de la Celluloid Manufacturing Company de los hermanos Hyatt, para producir celuloide en una modalidad semiterminada (varillas, hojas, tubos, etc.). Desde 1872 hasta 1880, los Hyatt concedieron licencias a diferentes compañías para la producción de bienes de consumo de celuloide, dedicándose cada una de estas compañías a un nicho de mercado definido (Friedel, 1979; 1983).

Flexibilidad interpretativa del artefacto celuloide tal como es mostrado en el proceso de selección

¿Cuál de los dos plásticos rivales, marfilina/xilonita o celuloide, devino dominante? El proceso de selección (véase Pinch y Bijker, en este volumen) fue determinado en gran medida por una controversia de patentes. Esta controversia entre Spill y Hyatt implicó el problema de quién tenía la prioridad por la invención del uso del alcanfor en la producción de un plástico a partir de la nitrocelulosa.

El debate puede ser usado para mostrar la “flexibilidad interpretativa” del artefacto celuloide. Para Spill, el celuloide significaba una mezcla de nitrocelulosa y alcanfor que, si bien estaba preparada de un modo ligeramente distinto, era esencialmente la misma que en el caso de la xilonita o la marfilina. Sin embargo para Hyatt, la diferencia crucial entre el celuloide y otros plásticos de nitrocelulosa se encontraba en el proceso de fabricación: decía que él usaba una solución sólida de nitrocelulosa y alcanfor en vez de una solución líquida. Vinculado a estas diferencias acerca de cómo estos dos químicos industriales conceptualizaban los significados de sus plásticos se encontraban diferencias en las metas y en las líneas resultantes del proceso. Spill valoraba el uso de su plástico mayormente como un sustituto de los plásticos naturales caros, tal como es indicado por el nombre marfilina y su énfasis en la necesidad de que el material fuera blanco. Consecuentemente, la producción

en masa a través del moldeado no era su prioridad. Para Hyatt la meta de construir un material que pudiera ser usado para producir un gran número de productos estrictamente definidos y de calidad consistente lo llevaba inevitablemente a concentrarse en el proceso de producción y especialmente en las características del moldeado del material.

La disputa por la patente entre Spill y Hyatt fue resuelta por Samuel Blatchford, en ese momento un juez de la Suprema Corte de los Estados Unidos, y "el juez mejor visto en asuntos de patente en su época" (Friedel, 1983, p. 132). El 21 de agosto de 1884 decidió que ni Spill ni Hyatt debían ser considerados los inventores del plástico nitrocelulosa-alcanfor, debido a que en sus patentes Parkes ya había cubierto esta combinación de sustancias. Esto significó la victoria de Hyatt, dado que la decisión del juez negó a Spill la novedad de usar alcanfor y anuló los fundamentos para su litigio con Hyatt. La Celluloid Manufacturing Company tuvo éxito, consolidando una firme base financiera.

La creciente estabilización del celuloide puede ser trazada siguiendo su uso como un material intermedio entre un plástico barato pero feo, como la goma, y materiales de lujo como el marfil. Por ejemplo, el advenimiento del celuloide trajo peines, puños de camisa y cuellos al alcance de grupos sociales que hasta entonces no habían estado en condiciones de acceder a tales lujosos artículos (lujosos debido a que los puños y cuellos de algodón originales debían ser lavados todos los días y esto era un trabajo tan laborioso que necesitaba, al parecer, sirvientes para hacerlo).

#### UN PROBLEMA CON EL ARTEFACTO CELULOIDE

Habiendo descripto algunos de los procesos que condujeron a una eventual estabilización del celuloide, el próximo paso en el modelo descriptivo es preguntar qué problemas fueron percibidos en este artefacto. Uno de los problemas con el celuloide, en la mirada de ciertos grupos sociales importantes, nunca fue resuelto. Este era su carácter inflamable. Como en el caso del desarrollo de la bicicleta (Pinch y

Bijker, en este volumen), los problemas raramente tienen la misma pertinencia para todos los grupos sociales. De tal modo que los datos sobre incendios y accidentes causados por explosiones en los cuales se decía que estaba involucrado el celuloide eran interpretados de un modo bastante distinto según las personas (Kaufman, 1963). Por ejemplo, es dudoso que algún químico pudiera no pensar que calentar la nitrocelulosa bajo presión no fuera el colmo de la locura, sabiendo su carácter explosivo. Un profesor de química que visitó la fábrica de Hyatt se preocupaba señalando que si era aplicado mucho calor, ¡la sustancia se destruiría inevitablemente a sí misma, junto con el edificio y las propiedades adyacentes! Si bien Hyatt era escéptico, estaba lo suficientemente preocupado como para probar la proposición:

El siguiente día, entre las 0 y la 1 de la mañana, cuando todos estaban afuera, ensamblé tablonces de cuatro pulgadas utilizados como bancos, entre la prensa hidráulica y la bomba de mano, intentando escudarme de un posible daño. Preparé después el molde, calentándolo a cerca de 500 °F sabiendo ciertamente que iba a producir una ignición de la nitrocelulosa y el alcanfor, y sabiendo que iba a sufrir por el resultado. Los gases chiflaron penetrantemente a través de las juntas del molde, llenando la sala con un humo penetrante. El molde, la prensa, el edificio y sus contenidos estaban allí, incluyéndome a mí mismo, muy contento de no saber tanto como el Profesor (Hyatt, 1914, p. 159).

Sin embargo, no muchos usuarios estuvieron convencidos por este experimento, y las autoridades locales y nacionales establecieron regulaciones de seguridad especiales para las industrias de procesamiento del celuloide (Worden, 1911).

Otro artefacto y su flexibilidad interpretativa: el producto de la condensación del fenol-formaldehído

Más o menos al mismo tiempo que Hyatt se encontraba estableciendo su compañía para la manufactura de dentaduras postizas, Adolf Baeyer

en Alemania estaba observando las reacciones de condensación entre aldehídos y fenoles. Si bien descubrió que bajo condiciones específicas se formaban compuestos químicos que pertenecían al grupo de las tinturas fenólicas, la mayor parte de los productos de condensación eran resinosos y difíciles de cristalizar (Baeyer, 1872).

Muchos historiadores de la industria plástica identifican al producto de condensación de Baeyer como la primera resina sintética. Habiendo producido la "resina", los investigadores dirigieron sus esfuerzos a lograr su producción a través de un proceso industrial. Esto fue logrado finalmente por Leo Hendrik Baekeland. Para el propio Baeyer, sin embargo, el producto de la reacción significó algo completamente distinto a una resina sintética. Debido a que el carácter resinoso de los productos de condensación presentaba un problema para los métodos usuales de análisis, Baeyer no pudo evaluar su importancia como potencial colorante sintético. Esto hizo que la resina del fenol-formaldehído solo fuera otro producto que debía ser desechado. Un tercer significado fue atribuido a este producto de condensación por parte de Arthur Michael (quien era estudiante de Hofmann, Bunsen y Mendeleev, y terminó su carrera como profesor de química en la Universidad de Harvard). Para Michael la resina no significó un resultado no deseado para la investigación de tinturas sintéticas, tampoco significó un plástico sintético potencialmente útil. Michael estaba interesado en estas resinas sintéticas por razones puramente académicas y biológicas: esperaba que esta investigación le permitiera una mejor comprensión de las resinas naturales (Michael, 1883-1884). No tenía interés en sus aplicaciones industriales potenciales.

De tal modo, la flexibilidad interpretativa del producto de la condensación del fenol-formaldehído, considerado como un artefacto en los términos de nuestro modelo descriptivo, conduce a la existencia de tres artefactos distintos: un material plástico en estado embrionario, un colorante potencial en estudio, y un método para el estudio de las resinas naturales.<sup>2</sup> Sin embargo no fue sino a principios de siglo que

<sup>2</sup> La expresión "flexibilidad interpretativa" puede llevar a algunos lectores a pen-

el primer artefacto devino a la existencia. Es a través de una distorsión retrospectiva que se ve su origen en 1872. En la próxima parte de esta sección trato la cuestión de por qué el primer artefacto, la baquelita tal como se la conocería después, no fue descubierta antes.

Marcos tecnológicos y por qué no fue construido un plástico por condensación del fenol-formaldehído

Más de una década pasó después de la observación inicial de la reacción de condensación entre el fenol y el formaldehído, y nadie pareció interesado en estudiar su potencial para la producción de un plástico sintético, aún cuando al mismo tiempo el éxito del celuloide sugería un mercado atractivo. Se puede pensar en el alto precio del formaldehído como una explicación de este rechazo a las posibilidades de desarrollo de un plástico sintético comercial. Si esta explicación es correcta, entonces podríamos esperar que la disponibilidad de un formaldehído más barato condujera a un esfuerzo en la investigación para hacer un plástico a partir de este material.

No fue sino en 1888, luego del desarrollo de un proceso catalítico que permitía sintetizar directamente el formaldehído, que el mismo devino un material fácilmente disponible. La industria de las tinturas, por ejemplo, comenzó a usarlo en muchas tinturas. Podemos preguntar si hubo entonces algún renovado interés por hacer un plástico sintético a partir de la condensación del formaldehído.

En verdad un químico industrial, Werner Kleeberg, fue estimulado por la disponibilidad comercial del formaldehído para estudiar la reacción de condensación. Kleeberg estaba con seguridad interesado en la reacción debido a que, como Baeyer, esperaba encontrar un nuevo colorante. También para Kleeberg la "roserote Masse" significaba

sar, erróneamente, que hay una realidad independiente e invariable, frente a la cual solo las interpretaciones pueden variar. Para evitar esta incompreensión, tal vez debiéramos adoptar las expresiones "flexibilidad artefactual" y "flexibilidad factual". Agradezco a Michel Callon por sus comentarios en este punto.

una sustancia a ser analizada. Y esto, una vez más, parecía imposible con las técnicas analíticas disponibles. Como resultado, Kleeberg se concentró en otras reacciones del formaldehído que no producían sustancias resinosas (Kleeberg, 1891).

La disponibilidad de la sustancia disparó otros intereses entre los químicos también. Otto Manasse y Leonhard Lederer desarrollaron, de manera independiente, un proceso para hacer alcoholes fenólicos (Manasse, 1894; Lederer, 1894). Ambos probablemente estaban trabajando para firmas químicas, produciendo materiales en crudo para la industria de las tinturas sintéticas. Se consideró que estos químicos recientemente descubiertos eran de interés general, pero también tenían un valor comercial (Lederer, 1894). Hasta entonces, la producción de los alcoholes fenólicos había sido realizada por la reducción de los aldehídos respectivos, un proceso caro y engorroso. La abundante disponibilidad del formaldehído sugirió otra solución: sintetizar los alcoholes fenólicos a partir del formaldehído. Lederer, al resumir los esfuerzos por alcanzar esta meta, explicó que todos estos intentos habían fracasado debido a la aparición súbita de “unerquickliche Harze” (resinas tremendas; Lederer, 1894, p. 224). De tal modo, podemos decir que el material resinoso significaba algo distinto también para estos químicos. No era un plástico potencial a ser domesticado para su moldeo; tampoco era una tintura potencial a ser analizada para sintetizarla; ni era un instrumento para estudiar las resinas naturales; más bien era una sustancia poco interesante que debía ser evitada debido a que se estaba tras otra cosa.

Los trabajos de Kleeberg, Manasse y Lederer sobre la condensación resinosa producto del fenol y el formaldehído, además de mostrar de otro modo la flexibilidad interpretativa del artefacto (añadiendo una cuarta construcción a la lista), indican que no fue el precio elevado del formaldehído (antes de 1886) lo que explica la negativa al uso potencial de esta resina como un plástico comercial. El formaldehído barato no condujo al desarrollo de un plástico comercial. Debe buscarse otra explicación.

La observación de que “simplemente no lo vieron” es una forma

de decir lo mismo que aquello que debe ser explicado. ¿Por qué no figuró en la agenda de los químicos de ese momento la posibilidad de producir un material resinoso sintético a partir de la reacción fenol-formaldehído? Ciertamente, químicos como Baeyer, Manasse, Lederer y Kleeberg no carecían de inteligencia comercial. Con seguridad debían también estar familiarizados con la goma (pesada) y con el celuloide, aún cuando solo fuera en sus casas. Algo impedía que el plástico sintético deviniera en una cuestión para esta comunidad de químicos. Para describir esto introduciré la noción de *marco tecnológico*.

Un marco tecnológico está compuesto, para empezar, de conceptos y técnicas empleadas por una comunidad para la resolución de sus problemas. (Una descripción más comprensiva del marco tecnológico será desplegada más adelante.) El concepto de *resolución de problemas* debería ser leído como una noción amplia, incluyendo tanto el reconocimiento de aquello que cuenta como un problema como las estrategias disponibles para resolver los problemas y los requerimientos que una solución debe tener. Esto hace que el marco tecnológico sea una combinación de teorías corrientes, conocimientos tácitos, prácticas de ingeniería (tales como los métodos y los criterios de diseño), procedimientos de testeo y prueba especializados, metas, y prácticas de manipulación y uso. La analogía con el término “paradigma” de Kuhn es obvia. Retornaré a esta analogía en la próxima sección.

Si aplicamos ahora el concepto de marco tecnológico a la discusión de Baeyer y Kleeberg, deviene claro por qué no trataron de modificar el producto de la condensación del fenol-formaldehído en un plástico utilizable. Primero, tenían otras metas: la producción de nuevas tinturas sintéticas. Pero estas metas pueden ser cambiadas, especialmente cuando hay grandes beneficios en el horizonte. Por lo tanto debe haber más elementos que este. La idea de hacer un plástico por medio de una síntesis química simplemente no ocurrió ni *pudo* ocurrírseles a ellos. La teoría química de esa época no podía hacer frente a una sustancia de este tipo. Tampoco podía hacerlo la práctica química: sus prácticas diarias de laboratorio incluían todo tipo de análisis y síntesis químicas, pero la aplicación de presión y las técnicas

de moldeado eran de otro mundo. El marco tecnológico del plástico sintético no existía aún. Lo mismo se aplica a la imposibilidad de ver la potencialidad del producto de la condensación por parte de Manasse y Lederer: simplemente no se ajustaba al marco tecnológico de su comunidad.

#### BUSCANDO UN SUSTITUTO AL CELULOIDE DENTRO DEL MARCO TECNOLÓGICO DEL CELULOIDE

El celuloide, a pesar de su éxito y su estabilización dentro de varios grupos sociales, aún tenía importantes problemas. Tal como se ha mencionado previamente, para algunos grupos era bastante peligroso debido a su carácter inflamable; era también bastante caro debido al precio del alcanfor; y tercero, no era adecuado a altas temperaturas, lo que puso barreras a varias aplicaciones técnicas. Esta situación llevó a que muchos químicos comenzaran a buscar una alternativa al celuloide. Se probaron otros solventes más baratos para reemplazar el alcanfor. Todo tipo de aditivos químicos fueron estudiados con el fin de moderar su carácter inflamable. Y algunos de estos químicos dirigieron su investigación a la reacción de condensación entre el fenol y el formaldehído. Mi argumento es que esta comunidad de químicos tenía un marco tecnológico que, en gran medida, estaba dominado por la experiencia del celuloide.

Primero, para hombres como Smith, Luft, De Laire, Fayolle y Story, la meta fue explícitamente encontrar un sustituto al celuloide. A menudo describían sus productos como "sustitutos de la laca" o "sustancias semejantes al cuerno animal", pero el campo de aplicación buscado era claramente el mismo que el del celuloide. Segundo, la mayor parte de estos inventores no mostraron una sofisticación mayor respecto a la teoría química que la expresada por Hyatt: no hicieron ningún esfuerzo por decir nada acerca del producto de condensación ni de los detalles de la reacción química. Tercero, su estrategia de resolución de problemas se focalizó en hallar un solvente adecuado. A tra-

vés de los juicios de patentes, la elección del solvente correcto adquirió el significado de ser un paso crítico en la "invención del celuloide". Y también se puso mucha atención en el solvente debido al alto precio del alcanfor. Esto situó al papel del solvente en una posición central dentro del marco tecnológico del celuloide, tanto respecto a la identificación de los problemas cruciales como a la estrategia de resolución de problemas. En verdad hemos visto a los inventores previamente mencionados definiendo su problema de elaborar un plástico sintético como el modo de ablandar el producto de la condensación de modo tal que, esperaban, una vez ablandado fuera tratable del mismo modo que el celuloide. Su estrategia para realizar esto era aplicar toda clase de solventes en distintas etapas de la reacción. En las palabras de Baekeland, al comentar la patente de Luft:

Todo el proceso de Luft parece claramente un intento de hacer un plástico similar al celuloide y prepararlo y usarlo como el último. La semejanza es mayor por el uso del alcanfor y los mismos solventes que en el proceso del celuloide (Baekeland, 1909a, p. 322).

Sin embargo, esta estrategia no funcionó en este contexto y ninguno de estos hombres tuvo éxito en hacer una resina sintética comercialmente viable.

#### DIFERENTES GRADOS DE INCLUSIÓN, O ACERCA DE CÓMO TUVO ÉXITO LA BAQUELITA

Finalmente llego a Baekeland. Mi argumento es que Baekeland trabajó –en un grado importante– dentro del marco del celuloide, y que trabajó de un modo igualmente importante en *desacuerdo* con este marco. Quiero abordar el problema de la descripción de esta situación con el concepto de *inclusión*.

Baekeland trabajó dentro del mismo marco que Smith, Luft, De Laire, Fayolle y Story, pero tenía una menor inclusión en el mismo.

Lo describo como trabajando dentro del marco del celuloide debido a que tenía la misma meta –hacer un sustituto para el celuloide y los plásticos naturales y los barnices– y porque comenzó a trabajar con la misma estrategia de resolución de problemas: buscar un solvente debilitante efectivo. Pero Baekeland no adhirió estrictamente a las ideas y métodos de este marco tecnológico. Esta inclusión relativamente baja en el marco del celuloide está vinculada a la alta inclusión de Baekeland en otro marco tecnológico: la ingeniería electroquímica. Por ejemplo, después de haber presentado varias alternativas en el campo tradicional de las aplicaciones del celuloide, añadió: “Este uso para artículos de fantasía no ha llamado mucho mi atención en la medida que existen importantes aplicaciones para los propósitos de la ingeniería” (Baekeland, 1909d, p. 157).

Obviamente Baekeland intentaba focalizarse en otros campos de aplicación, superponiéndose con el rango de las aplicaciones del celuloide, pero buscando un terreno que tuviera más el carácter de la ingeniería industrial. Cuando su búsqueda por un solvente debilitante no alcanzó ningún resultado, no quedó adherido al problema, debido a que su inclusión en el marco del celuloide era baja. En vez de ello, Baekeland comenzó a utilizar una de las estrategias familiares de resolución de problemas propia del marco tecnológico de los ingenieros electroquímicos. Llevó a cabo una investigación larga y sistemática orientada a analizar los distintos factores que estaban en conexión con la reacción. A pesar de que Baeyer había observado la reacción de condensación treinta y tres años antes, fue la primera vez que alguien investigaba esto.

Esta investigación permitió a Baekeland controlar la violenta reacción de condensación. Distinguió tres fases en la reacción y, debido a que pudo detener la reacción después de la primera y la segunda, estuvo en condiciones de manipular la masa moldeada antes que cambiara en la tercera fase final del ahora bien conocido plástico termoestable. El elemento clave de este procedimiento fue formulado en las famosas “patentes de calor-presión” (Baekeland, 1907a; 1907b). Solo se contrarresta la producción de productos gaseosos en la reacción de condensación cuando la alta presión es aplicada *al mismo tiempo* que

el calor se eleva; de otro modo el producto es poroso y carece de valor para las aplicaciones que requieren su moldeado.

Podemos dejar aquí la historia de la baquelita para volver a las nociones de marco tecnológico e inclusión.

#### MARCO TECNOLÓGICO E INCLUSIÓN

De manera deliberada, he hecho el concepto de marco tecnológico lo suficientemente amplio como para incluir elementos tan distintos como las teorías en curso, las metas, las estrategias de resolución de problemas, y las prácticas de uso (el término “prácticas de uso” es en alguna medida congruente con la noción de “mercados existentes”, pero se focaliza en las prácticas del consumidor más que en los aspectos económicos). Dependiendo del marco tecnológico que se describe (y en los propósitos de hacer ese ejercicio), diferentes elementos pueden requerir distintos grados de atención. Por ejemplo, el elemento de las teorías en curso del marco del celuloide está bastante vacío si miramos a Hyatt en sus tempranos días de trabajo con el celuloide. Tal como lo dijo apropiadamente al final del experimento para probar su inflamabilidad: “[me encontraba] muy contento de no saber tanto como el Profesor”.

La necesidad de construir un concepto tan amplio de marco tecnológico deriva del requerimiento de ser también aplicable a grupos sociales de no-ingenieros. Para un análisis constructivista de la tecnología es importante *no* hacer una distinción apriorística entre diferentes tipos de grupos sociales (Callon, 1981b; Pinch y Bijker, en este volumen). Por supuesto, cuando se describe el marco tecnológico del grupo social de los dentistas respecto al artefacto de la goma dura, se requieren más detalles acerca de las metas y las prácticas de uso dentro de ese marco que elementos acerca de las teorías en curso. De tal modo, un marco tecnológico debería entenderse más como un marco respecto a la tecnología que como un marco propio del tecnólogo.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Stephen Kline ha sugerido que bautice el concepto como marco sociotécnico.

El caso de la bicicleta Ordinary de ruedas altas (Pinch y Bijker, en este volumen) provee una ilustración en este sentido. Las prácticas de uso del grupo social de “hombres jóvenes de medios y vigor” –es decir: correr mostrándose e impresionando a las damas– constituyeron la “macho máquina”, mientras que las prácticas de uso de los grupos sociales de las mujeres y de los hombres de más edad –es decir: ir de excursión, cayéndose, y “quebrándose los miembros y los huesos”– constituyeron la máquina insegura. La “macho máquina” condujo a una tradición de diseño con radios de rueda más grandes, y la máquina insegura llevó a una variedad de diseños con ruedas más pequeñas, asientos localizados más atrás, o ruedas más pequeñas en el frente. De tal modo, diferentes prácticas de uso pueden influir en el diseño de artefactos, incorporando elementos del marco tecnológico de quienes no son ingenieros.

Este aspecto representa una importante diferencia respecto de conceptos relacionados, utilizados por otros investigadores del desarrollo tecnológico. Los conceptos de estilo tecnológico (Hughes, 1983 y en este volumen), tradición tecnológica (Constant, 1980, 1984; Laudan, 1984a), paradigma tecnológico (Dosi, 1982, 1984a; Gutting, 1984; Van den Belt y Rip, 1989), complejo de orientación tecnológica (Weingart, 1984) y régimen tecnológico (Nelson y Winter, 1977, 1982; Van den Belt y Rip, 1989) son esfuerzos que se aplican solo al grupo social de los ingenieros. Aún más, el uso del término “estilo tecnológico” por parte de Hughes quiere expresar de manera primaria la existencia de diferencias en las tecnologías nacionales, lo que ubica al concepto en un nivel de agregación mucho mayor al que corresponde a la noción de marco tecnológico.

Un segundo rasgo del marco tecnológico –aún no mencionado de manera explícita– es igualmente importante y lo diferencia también de la mayoría de los otros conceptos. El concepto de marco tecnológico

En verdad esto describe sus connotaciones con más precisión. Sin embargo, la expresión deviene incluso más elaborada de lo que es el concepto de marco tecnológico; por esta razón me apego a la última.

intenta ser aplicado a la *interacción* de varios actores. De tal modo, no es una característica individual, ni tampoco una característica de sistemas o instituciones; los marcos se encuentran *entre* actores, no *en* los actores ni *encima* de los actores. En ese sentido, los marcos son similares a las redes de Callon (1986). Si bien mi uso del concepto de marco tecnológico deriva de otros estudios en los cuales conceptos similares han sido desarrollados de manera tanto empírica como teórica,<sup>4</sup> su aplicación a la tecnología es hasta el momento solo tentativa. Esbozo brevemente algunos aspectos de la naturaleza interactiva de este concepto.

Tal como se indicó previamente, el significado atribuido a un artefacto por los miembros de un grupo social juega un papel crucial en mi descripción del desarrollo tecnológico. El marco tecnológico de estos grupos sociales estructura su atribución de sentido proveyendo, por así decirlo, su “gramática”. Esta gramática es utilizada en la interacción de los miembros de este grupo social, resultando en una atribución de sentido *compartida* (que el significado de un artefacto es compartido entre los miembros de un grupo social es, después de todo, un elemento central para la identificación de un grupo social relevante; véase Pinch y Bijker, en este volumen).

La naturaleza interactiva de este concepto es necesaria para explicar la emergencia y desaparición de marcos tecnológicos. Un marco tecnológico es construido cuando comienza y continúa en el tiempo la interacción “alrededor” de un artefacto. De tal modo, el artefacto parquesina no dio lugar a un marco tecnológico específico debido a que la interacción “alrededor” de él terminó antes de verdaderamente haber comenzado. Lo opuesto ocurrió con el celuloide: su estabilización fue acompañada por el establecimiento de, por ejemplo, un grupo social de “químicos del celuloide”. La continua interacción de estos químicos dio origen y fue estructurada por un nuevo marco tecnológico. Un ele-

<sup>4</sup> En alguna medida son similares los conceptos de figuración (Elias, 1970) y juego (Crozier y Friedberg, 1977; Van der Meer, 1983, 1986; Wilhelm, 1985; Wilhelm y Boik, 1986).

mento importante de este marco tecnológico fue, como hemos visto, el foco puesto en los solventes dentro del proceso químico.

De algún modo, entonces, el concepto de marco tecnológico es el resultado de hacer menos visibles las costuras de la red que fue urdida con el modelo descriptivo (véase la introducción a Bijker, Hughes y Pinch, 1987). Por un lado, un marco tecnológico puede ser utilizado para explicar cómo el ambiente social estructura el diseño de un artefacto. Por ejemplo: la dominación del grupo social de los químicos del celuloide tuvo como resultado varias patentes para un plástico a partir del fenol-formaldehído, en las cuales el uso del solvente jugaba un papel crucial. Por otro lado, un marco tecnológico indica cómo la tecnología existente estructura el ambiente social. Por ejemplo: la estabilización del artefacto celuloide dio como resultado la aparición de grupos sociales y marcos tecnológicos específicos. Respecto a esto, un artefacto (tal como el celuloide) en última instancia, juega un papel similar al concepto de "modelo ejemplar" de Kuhn (1970; Gutting, 1984, p. 56).

Un marco tecnológico estructura la interacción de los miembros de un grupo social. Pero nunca puede hacerlo de manera completa: primero, debido a que diferentes actores tendrán diferentes grados de inclusión en el marco (actores con una alta inclusión interactúan más en términos de ese marco tecnológico, y actores con un bajo grado de inclusión lo hacen en menor medida), y segundo, debido a que todos los actores serán en principio miembros de más de un marco tecnológico, como lo he sugerido en el caso de Baekeland.<sup>5</sup> También en estos aspectos –la posibilidad de varios grados de inclusión en un marco tecnológico y la posibilidad de encontrarse en diversos marcos– el concepto de marco tecnológico difiere respecto de conceptos semejantes que fueron mencionados previamente.

<sup>5</sup> Wesley Shrum (1984) argumentó sobre líneas similares en su análisis de los sistemas técnicos. Se refiere a Ludwik Fleck (1935), cuyos "estilo de pensamiento" y "círculo esotérico / exotérico" están en las raíces de los conceptos de marco tecnológico e inclusión (Bijker, 1984).

Las características del concepto de inclusión pueden ser ilustradas por el contraste entre el ingeniero que posee un grado relativamente bajo de inclusión en un marco tecnológico y el notorio "científico marginal" analizado por Gieryn y Hirsch (1983). Hay al menos tres importantes diferencias. Primero, la "marginalidad" de los conceptos discutidos por Gieryn y Hirsch posee solo una dimensión. Por ejemplo, en un estudio los científicos son considerados marginales si han migrado recientemente de otro campo, mientras que en otro estudio el concepto de marginal es operacionalizado como equivalente a "ser joven". Las diferentes dimensiones producen resultados contradictorios: si Gieryn y Hirsch pudieran escoger una única dimensión para caracterizar un científico, todos los noventa y ocho científicos de su muestra serían marginales. En contraste, el concepto de inclusión es *multidimensional* debido a que está relacionado a un concepto de múltiples facetas: el marco tecnológico. De tal modo, la inclusión de actores en un marco tecnológico puede ser especificada describiendo sus metas, sus estrategias de resolución de problemas, las habilidades experimentales, su entrenamiento teórico, y así en más. Después uno podría continuar indicando en qué medida cada uno de esos elementos es congruente con los elementos respectivos del marco tecnológico. Por ejemplo: las metas de Baekeland eran congruentes con el marco tecnológico de los productores de celuloide en la medida que intentó producir artículos plásticos en masa; no lo eran en la medida que se estaba focalizando en la producción de aplicaciones industriales más que en bienes de consumo. Segundo –tal como lo he mencionado antes–, inclusión no es un concepto binario: en vez de ser central o marginal, un miembro de un grupo social puede tener distintos *grados* de inclusión en el marco tecnológico. Esto es especialmente importante cuando queremos hacer justicia al carácter dinámico de la producción tecnológica. El grado de inclusión de un actor no es constante sino que puede cambiar con el curso de los eventos. Por ejemplo: el grado de inclusión de Baekeland en el marco del celuloide decreció cuando cambió de la aplicación de solventes a otra estrategia de resolución de problemas perteneciente al marco tecnológico de los electroquímicos. El tercer punto de diferencia

con el concepto de marginalidad ya fue mencionado previamente: los actores son típicamente miembros de diferentes grupos sociales y tienen (distintos grados de) inclusión en varios marcos tecnológicos.

En la próxima sección retomo el caso de la baquelita y sigo su historia a partir de 1907.

#### LA CONSTRUCCIÓN SOCIAL DE LA BAQUELITA

En la perspectiva ortodoxa de la historia del plástico, las patentes de 1907 de Baekeland constituyen la invención de la baquelita. Pero un artefacto no puede nunca ser explicado como siendo inventado de un modo tan definido (tal como todos los autores incluidos en Bijker, Hughes y Pinch, 1987, argumentan en distintos tonos). En 1907 no había aún una innovación exitosa llamada baquelita. Las exhibiciones que Baekeland mostró durante su presentación en el Club de Químicos de Nueva York probaron ser tan ilusorias como las exhibiciones tempranas de la parquesina de 1862 en la Exhibición Mundial. El primer plástico sintético que marcaría los comienzos de la "era del plástico" aún debía ser construido. Para entender esta parte del proceso de desarrollo de la baquelita, nos ayudan, una vez más, los conceptos de marco tecnológico e inclusión.

Ninguna experiencia química ni teoría sofisticadas parecen estar involucradas en el proceso de elaboración de la baquelita (la teoría macromolecular que describe este tipo de procesos no fue desarrollada hasta la década de 1920). Este es el motivo por el cual Baekeland consideró inicialmente que podía mantenerse al margen del proceso de manufactura; su intención fue obtener licencias con el plan de sacar beneficios del uso de sus patentes, pero "pronto encontré que estaba muy equivocado en esto, y que causaría un sinfín de desengaños enseñar a otros químicos detalles que, para mí, parecían bastante simples" (Baekeland, 1916, p. 155).

Esto es comprensible a la luz de la discusión previa. El trabajo de los grupos sociales a los cuales Baekeland intentaba delegar la manu-

factura de la baquelita para moldear en polvo estaba estructurado por el marco tecnológico del celuloide. Este marco tecnológico focalizaba la interacción de los grupos sociales de productores en, por ejemplo: el empleo de solventes y el desarrollo de nuevas máquinas de procesamiento, tales como la prensa de moldeo de láminas y la aplanadora hidráulica (ambas usadas para hacer láminas finas), y la prensa de moldeo por inflado (usada para proveer a las nuevas generaciones con juguetes, sonajeros y muñecas) (Dubois, 1972). No proveía los medios para tratar con una reacción química delicada, tal como la existente entre el fenol y el formaldehído "en la cual casi cualquier cosa puede ocurrir excepto la formación de baquelita" (Chandler, 1916, p. 179).

Entonces Baekeland se propuso producir los polvos para moldear como producto intermedio y dejar el proceso final de moldeo a los ingenieros experimentados involucrados en la producción de la goma dura, el celuloide y los materiales de aislamiento. Sin embargo, una vez más el marco tecnológico del celuloide puso una barrera:

Encontré, con asombro, que personas que eran expertas en la manipulación de la goma, el celuloide u otros plásticos eran las menos dispuestas a manejar el nuevo método que traté de enseñarles o que busqué que apreciaran sus ventajas. Esto se debía primariamente al hecho de que estos métodos y las propiedades del nuevo material eran muy distintos en su verdadera esencia a cualquiera de los procesos antiguos a los que esta gente estaba acostumbrada. Este retraso un tanto inesperado es tan cierto que incluso hoy los usuarios más exitosos de la baquelita son justamente los que no estuvieron involucrados antes en el plástico, simplemente por la razón de que no deben divorciarse a sí mismos de la rutina de viejos métodos, y estaban complacientes en escuchar pacientemente las sugerencias de los recién llegados al campo (Baekeland, 1916, p. 155).

Para establecer un grupo social de productores de baquelita, Baekeland debía enrolar gente de afuera de los grupos existentes de productores de plásticos o entre aquellos que poseían una baja inclusión en el

marco tecnológico del celuloide. De tal modo, el grupo social de productores de baquelita era, al comienzo, casi totalmente equivalente al de los empleados de la Bakelite Corporation.

De manera sincronizada con la estabilización del artefacto baquelita y la formación del grupo social de productores, un marco tecnológico comenzó a existir. Así, el sistema del artefacto, el grupo social y el marco tecnológico ganaron *momentum tecnológico* (Hughes, 1983, y en este volumen).

Este proceso –estrechamente vinculado– puede ser trazado siguiendo los diversos juicios por patentes y las negociaciones posteriores a 1909. En estos juicios el significado de la baquelita para este grupo de productores fue haciéndose más preciso. Luego del asentamiento de cada lucha por patentes la parte perdedora devenía en un miembro del grupo social de productores, adquiriendo una posición líder en la Bakelite Corporation: métodos y conceptos desarrollados por otros químicos fueron incorporados en el marco tecnológico del grupo social de productores.

De tal modo, el grupo social de productores fue extendido dando a Hans Lebach una función dentro de la Bakelite Gesellschaft mbH, establecida en Alemania en 1910. En 1907 Lebach, quien trabajó para la firma química Knoll & Co. había también patentado un producto de la condensación del fenol-formaldehído (Knoll, 1907, 1908; Lebach, 1909). Durante un álgido debate en la *Zeitschrift für Angewandte Chemie*, Baekeland dijo que estaba “firmemente convencido de la ausencia de valor técnico de esta sustancia” (Baekeland, 1909b, p. 2006). Esto, sin embargo, no inhibió la asimilación del proceso de Lebach en el marco tecnológico de los productores de baquelita, una vez que la pelea se asentó. Lo que se hace evidente en uno de los artículos de revisión que Baekeland publicó más tarde, en el cual describió neutralmente “otro método indirecto”, y con sencillez reconoció que “este método fue publicado por primera vez por Lebach a fines de 1907” (Baekeland, 1912, p. 742). De manera análoga, el cuerpo gerencial de la American General Bakelite Company se formó casi totalmente a partir de los competidores previos que habían sido “derrotados” en las luchas de

patentes (Redman y Morey, 1931), integrando también –parcialmente– sus métodos y conceptos al marco tecnológico (Thinius, 1976).

Una de las últimas etapas importantes en la construcción social de la baquelita fue el enrolamiento de dos grupos sociales nuevos, pero crecientemente importantes: las industrias del auto y de la radio. Para la industria de la radio, la baquelita era un buen material aislante que se podía moldear y, especialmente para los radioaficionados, también significaba un material versátil como plancha que se podía aserrar, taladrar y presentar para proveer un marco de montaje para componentes eléctricos.

Baekeland tenía, como se evidencia en sus proyectos previos, una aguda percepción de las posibilidades del mercado. Esto es ilustrado, una vez más, por su visión del accionar de los químicos industriales, en la cual muestra que una innovación exitosa requiere mucho más que producir una nueva sustancia:

Esta pregunta no está solo relacionada con la tarea de crear una cierta sustancia química. El tema es mucho más complicado, debido a que el objetivo es manufacturar un producto de un modo tal que pueda ser usado de modo confiable para propósitos técnicos muy específicos (Baekeland, 1909b, p. 2007).

Primariamente, los esfuerzos de Baekeland estuvieron dirigidos hacia la producción de partes eléctricas aislantes. Las compañías eléctricas (tales como Westinghouse Electric Co., Remy Electric Co., y General Electric Co.) fueron los primeros clientes, comprando el material para el moldeado producido por la General Bakelite Company. Trabajó personalmente en muchas plantas para ayudar a solucionar los primeros problemas. Estableciendo estos contactos, Baekeland operó principalmente en el nivel de los ingenieros, más que en el nivel gerencial.<sup>6</sup> Su

<sup>6</sup> Esto me fue señalado amablemente por Jeffrey Sturchio, quien está trabajando en la historia de Leo Baekeland y la competencia en la temprana industria química norteamericana.

trabajo como ingeniero entre colegas ingenieros fue eficaz, creo, para estimular la emergencia de un marco tecnológico entre los moldeadores de la baquelita.

El segundo grupo social importante de usuarios de la baquelita fue enrolado por medio de la industria eléctrica: la industria del automóvil. Para la producción automotriz, la baquelita significó un material preciso para ser moldeado, que permitía producir partes eléctricas aisladas (no afectadas por la humedad, el aceite u otros químicos) y capaz de soportar altas temperaturas. Los sistemas de ignición y encendido de Kettering y Bosch se estaban popularizando en los automóviles, pero requerían partes aislantes que necesitaban ser fuertes y químicamente resistentes. De manera subsecuente, el uso de la baquelita en esta industria se ramificó a partes no eléctricas, tales como manubrios, tapas de radiadores, perillas de palancas de cambio y manijas de puertas. Hacia finales de la década de 1930, a través del enrolamiento inicial de estos dos grupos sociales, la baquelita adquirió, en muchos grupos sociales más, un mayor grado de estabilización.

Para finalizar la historia de la construcción de la baquelita, brevemente vuelvo a su uso en la producción de bienes de consumo. En su significado como material del molde para el aislamiento de componentes eléctricos, la baquelita sustituyó solo parcialmente a otros materiales. Muchas de sus aplicaciones eran completamente nuevas. El significado de la baquelita como un material para bienes de consumo (figura 1) es mucho más ambivalente. Aquí es prominente la vieja tensión entre un material de imitación y un material original, tan íntimamente vinculada –desde el celuloide– con la historia del plástico (Friedel, 1983). Un relevamiento de mercado, realizado en 1938 para la German Bakelite Gesellschaft mbH, ilustra maravillosamente esta ambivalencia (de manera coincidente con un “estudio de mercado retrospectivo” realizado en los Países Bajos en 1981).<sup>7</sup> Los motivos más importantes para comprar los

Figura 1. La bolsa de agua eléctrica fabricada por R. A. Rothemel, Ltd. Obviamente la baquelita no podía usarse como una imitación del material de goma (blando), pero incluso en el diseño industrial de productos que habitualmente eran de goma, la imitación es evidente. (Fotografía cortesía del Museo de Richmond-upon-Thames, Surrey, Gran Bretaña)



productos de baquelita eran su elegante diseño (el material era moderno y no requería mucho mantenimiento) y su larga durabilidad (en comparación con la porcelana, el vidrio y la cerámica). Por supuesto, también había desventajas. Por ejemplo: la baquelita era considerada bastante frágil. De manera significativa, esta perspectiva de ver frágil a la baquelita era más prominente en las áreas industriales, donde los trabajadores

Los resultados de ambos estudios son informados en Kras *et al.* (1981). Es necesario ser cuidadoso en la generalización de los resultados de estos estudios, debido a que la diferencia de prácticas en distintos países puede ser considerable (Kaufman, 1963). Sin embargo, es mi impresión que estos estudios acerca de las prácticas de uso en Alemania y Holanda son, al menos, indicativos de la situación de otros países.

<sup>7</sup> En 1938 la Bakelite Gesellschaft mbH, en Berlín, tenía un estudio de mercado llevado a cabo por la Gesellschaft für Konsumforschung EV, en Berlín. El “estudio de mercado retrospectivo” fue organizado por Intomart Qualitatief BV, Hilversum, Holanda.

Figura 2. Las cajas para jabón “De Vergulde Hand”. Forma y decoración de cajas reutilizables usadas para resaltar el reconocimiento del producto, incluso más que la marca. (Fotografía cortesía de Alex de Kock, Bakelite&Plastic Museum)

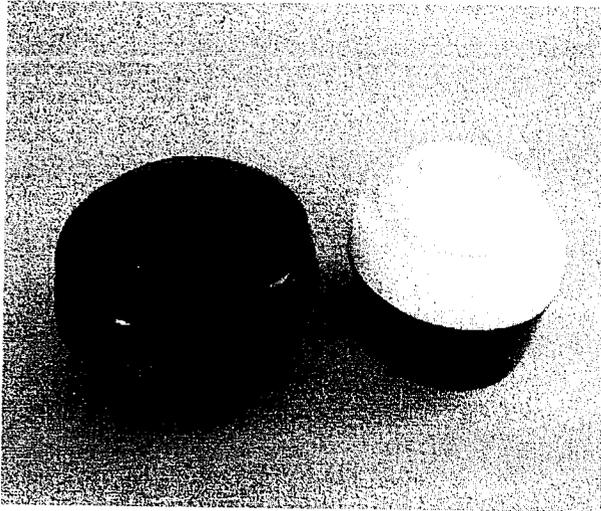
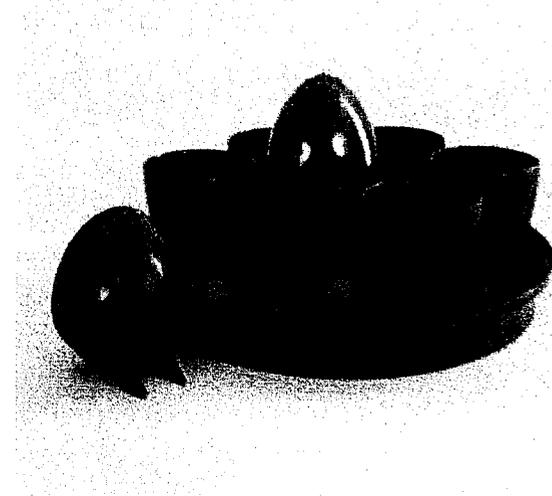


Figura 3. Pocillos para huevos con un salero en el centro. “¡Eso estaba en la pieza de mi madre!”, recordó una persona entrevistada cuando se le mostró el artefacto y la fotografía (Kras *et al.*, 1981, p. 43). La baquelita también se utilizó en productos de lujo debido a sus connotaciones asociadas a la alta tecnología. (Fotografía cortesía de Alex de Kock, Bakelite&Plastic Museum)



de fábricas conocían por experiencia las diversas dificultades de manipularla (¡estaban incluidos en dos marcos tecnológicos!).

La baquelita fue usada como un material de empaado, especialmente para artículos que necesitaban mantenerse secos (por ejemplo, medicinas, tabaco y cosméticos). Muchas cajas de baquelita se consideraban permanentes, dado que era posible volver a llenarlas. De tal modo, se le prestó especial atención a su diseño externo (figuras 2 y 3). Hacia finales de la década de 1930, la baquelita fue más aceptada como material en sí mismo. Es posible detectar una tendencia general que pasa del diseño imitativo (por ejemplo, el estilo *Art déco*; figuras 4a y 4b) al diseño independiente (por ejemplo, el estilo aerodinámico; figuras 4c y 5). Hacia finales de la década de 1930, la baquelita significaba la “tecnología moderna”, las “posibilidades ilimitadas”, el

“cuarto reino” (después de los reinos mineral, vegetal y animal).<sup>8</sup> Podría argumentar que, para una completa explicación de la historia de la baquelita (que no era mi objetivo aquí) y para una adecuada descripción de su estabilización final, el grupo social de los diseñadores industria-

<sup>8</sup> En 1937 la Bakelite Corporation hizo una película llamada *El cuarto reino*, en la cual la producción y las aplicaciones de la baquelita se mostraban con mucho detalle. La película comenzaba con una voz sonora, que argumentaba de acuerdo con la siguiente línea: “Mineral, vegetal, animal, los tres reinos de la Naturaleza. Han servido a la humanidad por eras, pero ahora nuestra moderna sociedad industrial los encuentra insuficientes para satisfacer todas las necesidades. Había que ir en otra dirección. Se fue hacia el cuarto reino, el plástico” (seguido por un *crescendo* de música sinfónica, por supuesto). Estoy agradecido con Robert Bud por mostrarme fragmentos de esta película.

Figura 4a. Radio Philips Art Deco. (Fotografía cortesía de Alex de Kock, Bakelite&Plastic Museum)

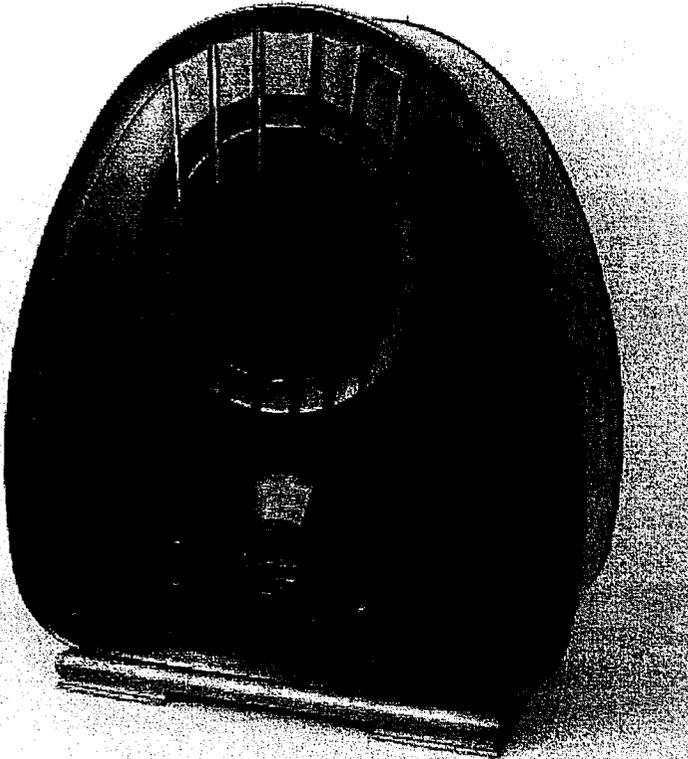


Figura 4b. Radio funcional Ekco. (Fotografía cortesía de Alex de Kock, Bakelite&Plastic Museum)



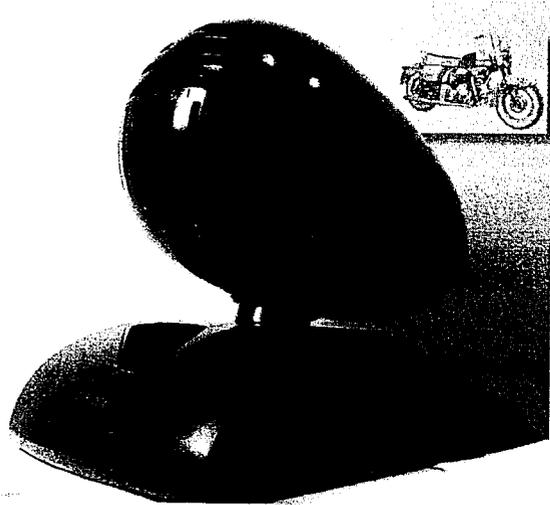
les necesita atención. Esto nos llevaría cerca de la historia del arte, volviendo el tejido aún más carente de costuras.<sup>9</sup>

#### HACIA UNA TEORÍA DE LA INVENCION

Ahora el cuadro se ha vuelto bastante complicado. Quiero concluir sugiriendo un modo de dar algún orden al caos de artefactos, grupos sociales relevantes, marcos tecnológicos, y procesos de variación, selección y estabilización. Como primera aproximación, distingo tres posibles situaciones de desarrollo en las cuales un artefacto puede estar en un cierto momen-

<sup>9</sup> Jenkins (1985) también propone vincular la historia de la tecnología y la historia del arte. En sus análisis de algunos aspectos de los diseños de Edison, plantea preguntas intrigantes.

Figura 4c. Micrófono Ducati con estética aerodinámica. (Fotografía cortesía de Berto van Oortmarssen)

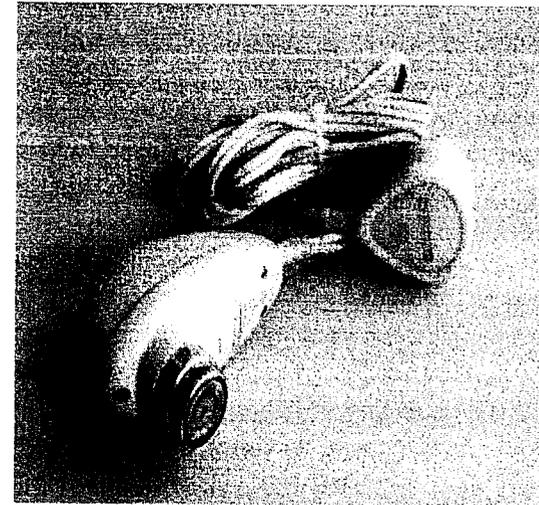


to. Estas situaciones son caracterizadas en términos de los conceptos de grupo social, marco tecnológico, e inclusión. Para hacer la explicación más general, tomo elementos de estudios de caso distintos al de la baquelita –la bicicleta, el turboreactor y la distribución de energía eléctrica.

Primero se encuentra la situación en la cual ningún grupo social, ni su marco tecnológico, son dominantes.<sup>10</sup> Un ejemplo de esta situa-

<sup>10</sup> Obviamente es una cuestión que depende del juicio personal de los historiadores decidir si un marco tecnológico es dominante o no. No puedo ofrecer instrumentos para mediciones cuasi objetivas de este dominio. En la mayor parte de los casos pueden darse argumentos adecuados, pienso, por la elección de los grupos sociales relevantes, sus marcos tecnológicos, y su importancia relativa. Por ejemplo, la diferencia entre la primera y la tercera situación es habitualmente clara. En la tercera situación, dos grupos sociales poderosos, con marcos tecnológicos que pueden ser descriptos fácilmente en relación a los artefactos en cuestión, habrán desarrollado sus dos artefactos en competencia bastante bien. En la primera situación, cualquier variante bizarra puede ser tomada en consideración y puede eventualmente estabilizarse. Por ejemplo, los neumáticos de

Figura 5. Philishave, tipo 7735, conocida como “El Huevo” (1948-1951). (Fotografía cortesía de Alex de Kock, Bakelite&Plastic Museum)



ción puede ser localizado, creo, en el desarrollo de la bicicleta hacia 1880. Aún cuando había muchos grupos sociales involucrados, es difícil ver a cualquiera de ellos dominando el campo y estructurando con su marco tecnológico la identificación de problemas y las estrategias de resolución de problemas. La segunda situación se caracteriza por el dominio de un grupo social y su correspondiente marco tecnológico. Probablemente esta sea la situación más común –“tecnología normal”, para parafrasear a Kuhn. El periodo del desarrollo de los plásticos semisintéticos que va de 1880 a 1920 provee un ejemplo, con el dominio del marco tecnológico del celuloide. En la tercera situación dos o más grupos sociales con marcos tecnológicos claramente desarrollados están disputando el dominio en el campo. La diferencia respecto a la

aire de Dunlop devinieron en parte de la Bicicleta Segura sin haber sido propagada desde el comienzo por ningún grupo social poderoso.

primera situación es que, en aquel caso, los diversos grupos sociales relevantes no poseen aún marcos tecnológicos distintivos respecto del artefacto en cuestión, mientras que en esta última situación sí lo tienen. El análisis de Tom Hughes acerca de la lucha entre los sistemas de distribución de electricidad –de corriente continua o alterna– ofrece un ejemplo de esta tercera fase.

Habiendo caracterizado tres fases diferentes, la próxima tarea es especificar qué tipos de procesos de variación, selección y estabilización pueden esperarse en cada una de estas etapas. Sin ser –en ningún sentido– completas, discutiré brevemente algunas posibilidades.

Cuando no hay un marco tecnológico dominante, como en el primer caso de desarrollo que he identificado, el rango de variantes que pueden ser propuestas para resolver un problema no está muy restringido. El proceso de variación tenderá a ser *radical* (véase Hughes, en este volumen). En verdad, en el desarrollo de la bicicleta hacia 1880 se propusieron variantes radicalmente distintas para resolver el problema de la seguridad. En la bicicleta Star Americana (1881) la rueda pequeña fue colocada delante de la rueda grande; la bicicleta de Lawson (1879) tenía un mecanismo de conducción con una cadena en la pequeña rueda trasera. En este sentido, “radicalmente diferente” significa que todos los aspectos de la bicicleta estaban sujetos a variación. Difícilmente algún detalle de la bicicleta era tomado por seguro, incluso el número de ruedas (se construyeron tri o cuatriciclos) o el método de propulsión a pie (más allá de mover manijas en un movimiento circular, se construyeron varios dispositivos de palanca con movimiento vertical lineal del pie) estaban en discusión. La selección y estabilización de variantes coincidirán casi totalmente en esta situación. Uno de los procesos más importantes de estabilización en una situación que carece de un grupo social dominante y un marco tecnológico claros es el *enrolamiento* (Callon y Law, 1982). En tales circunstancias, un grupo social tratará de propagar sus variantes de solución por el enrolamiento de otros grupos, para organizar el apoyo a su aparato. Un modo de hacer esto es mediante la *redefinición* del problema (Pinch y Bijker, en este volumen). Si un artefacto (por ejemplo, los neumáticos de aire) ofrece una

solución a un problema que no es tomado seriamente por otros grupos sociales poderosos, entonces el problema puede ser redefinido de un modo tal que lo torne necesario. El problema para el cual los neumáticos a aire fueron considerados inicialmente una solución (el problema de la vibración) fue redefinido como un problema de velocidad. El neumático a aire también ofreció una solución a este problema, y debido a que este problema era importante para los ciclistas que corrían carreras, estos fueron enrolados.

En el segundo tipo de desarrollo –cuando un marco tecnológico es dominante– es útil también distinguir el grado de inclusión de los actores. Ingenieros con un grado de inclusión relativamente alto en el marco tecnológico serán sensitivos al *fracaso funcional* (Constant, 1980) como incentivo para generar variantes. Un fracaso funcional puede ocurrir cuando un artefacto es usado bajo condiciones nuevas y más exigentes. La inflamabilidad del celuloide presentó fallas funcionales cuando su uso fue extendido a aplicaciones distintas a las dentaduras, tales como su aplicación en la fabricación de películas fotográficas. Actores con un alto grado de inclusión en un marco tecnológico son llevados a *invenciones convencionales* (Hughes, en este volumen) –mejoras, optimizaciones, adaptaciones. Así, una gran parte del esfuerzo innovativo de los productores del celuloide estuvo dirigido a volver menos inflamable el material, hallando otro solvente.

Actores con un nivel relativamente bajo de inclusión en un marco tecnológico interactúan con relación a ese marco en una menor extensión. Una consecuencia puede ser (tal como lo he sugerido en el caso de Baekeland) que estos actores no tomen las estrategias estandarizadas de resolución de problemas de este marco tecnológico, en el cual tienen un bajo nivel de inclusión. Otra conclusión puede ser que estos actores identifiquen otros problemas, mejor que otros actores con un alto grado de inclusión en ese marco. Por ejemplo, la identificación de una *anomalía presunta* ocurrirá típicamente entre ingenieros con una baja inclusión relativa en el marco tecnológico. Una anomalía presunta, tal como la describe Constant,

[...] ocurre en tecnología, no cuando el sistema convencional falla en un sentido absoluto u objetivo, sino cuando supuestos derivados de la ciencia indican tanto que bajo algunas condiciones futuras el sistema convencional va a fallar (o funcionar mal) o que un sistema radicalmente diferente va a hacer un trabajo mucho mejor (Constant, 1980, p. 15).

Por ejemplo: la teoría aerodinámica en la década de 1920 sugirió un futuro fracaso del motor convencional de pistón para la propulsión de aviones. Sugirió que una apropiada forma aerodinámica permitiría que la velocidad de los aviones se incrementara al menos al doble; dado que el propelente probablemente no funcionaría a la velocidad cercana al sonido que sería necesaria para tales aviones, la teoría sugería la viabilidad de turbinas de gas altamente eficientes. Mi interpretación es que los ingenieros jóvenes, recientemente entrenados, están en una posición especialmente adecuada para reconocer y reaccionar frente a una anomalía presunta: están entrenados en el marco tecnológico pero poseen una inclusión lo suficientemente baja como para cuestionar los supuestos básicos de ese marco.

Déjese considerar ahora la tercera situación, en la cual más de un marco tecnológico es dominante. Esta es una situación que no ocurre en el caso de la baquelita, al menos en el período en el que me he concentrado. Para una ilustración iré, por lo tanto, a otro caso. Hacia 1890, tanto los sistemas de distribución de energía eléctrica que funcionaban con corriente continua como los que funcionaban con corriente alterna operaban comercialmente, incluso en la misma ciudad (Hughes, 1983). El proceso de selección en una situación de este tipo es bastante frenético, más que en la primera situación donde no hay marco tecnológico dominante y cuando hay menos intereses en juego. Argumentos, criterios y consideraciones que son válidos en un marco tecnológico no tendrán mucho peso en otro. En tales circunstancias parece que criterios externos a ambos marcos tecnológicos jugarán un papel importante en el proceso de selección. Esto hace de la *retórica* un mecanismo de selección adecuado en esta tercera situación (Pinch y Bijker, en este volumen). Tom Hughes describe dicho movimiento

retórico en la "batalla de las corrientes". Un perro es electrocutado en una publicidad: sometido primero a una corriente continua de varios voltios y después despachado por la corriente alterna. El objetivo era persuadir a la audiencia que la corriente continua, en oposición a la corriente alterna, es relativamente segura. Tal como lo observa Hughes, muchas veces en una "batalla de sistemas" de este tipo (una competencia entre dos grupos sociales dominantes poderosos, igualmente dominantes y con sus respectivos marcos tecnológicos) ninguno alcanza una victoria total. La *amortización de los intereses involucrados* es el proceso de estabilización que ocurrirá a menudo en esta situación (Hughes, 1983). Por supuesto, el mecanismo de clausura retórico puede ocurrir en la segunda situación, en la cual un marco tecnológico es dominante. El rasgo clave de este mecanismo de clausura es, después de todo, que trae la estabilización utilizando argumentos que no tienen mucho peso dentro del marco tecnológico del propio actor sino que forzosamente apela a actores que se encuentran fuera de él.

Quiero enfatizar que las situaciones que he distinguido no se suceden una a la otra en ningún patrón fijo. Por ejemplo, el primer trabajo de Baekeland sobre la baquelita puede comprenderse, creo, como ajustado al segundo tipo de desarrollo tecnológico -un marco tecnológico en el que Baekeland estaba bajamente incluido. Pero el desarrollo subsecuente muestra varias características que están más en línea con el primer tipo de desarrollo, en el cual ningún marco tecnológico está bien desarrollado.

## CONCLUSIÓN

He intentado sugerir una aproximación a un análisis teórico del desarrollo de los artefactos tecnológicos que extiende el modelo descriptivo introducido por Pinch y Bijker (en este volumen). En la primera sección acerca de la temprana historia del plástico, dos conceptos teóricos nuevos fueron adelantados, los de marco tecnológico e inclusión. En la segunda sección discutí estos conceptos con algún detalle. Un marco

tecnológico difiere en dos aspectos importantes respecto a conceptos semejantes como los de paradigma. Primero, es aplicable a toda clase de grupos sociales, no solo a grupos de ingenieros. Segundo, un marco tecnológico es un concepto interactivo. También fueron discutidas las diferencias entre los conceptos de (baja) inclusión y de marginalidad. En la tercera sección, estos conceptos fueron ilustrados adicionalmente aplicándolos al caso de la baquelita. Finalmente, propuse un tipo de esquema simplificador para establecer alguna clase de orden al nuevo caos creado. Tres situaciones fueron distinguidas para caracterizar el proceso de desarrollo de un artefacto según las etapas que atraviesa: la ausencia de un marco tecnológico, un solo marco tecnológico, y varios marcos tecnológicos dominantes. Debe ser enfatizado que estas situaciones no deben interpretarse como formando un esquema rígido de fases a través de las cuales un artefacto tiene que pasar. Más bien, es un dispositivo heurístico para simplificar la descripción de la historia como un "tejido sin costuras". Haciendo esto, he hallado que varios conceptos desarrollados por los historiadores de la tecnología parecen útiles. De tal modo, la aproximación propuesta no solo trae cierto orden al desorden, sino también permite relacionar diferentes estudios de casos.

## La evolución de los grandes sistemas tecnológicos\*

Thomas P. Hughes

### DEFINICIÓN DE SISTEMAS TECNOLÓGICOS

Los *sistemas tecnológicos* contienen componentes destinados a resolver problemas entremezclados, complejos. Son simultáneamente construidos socialmente y configuran la sociedad.<sup>1</sup> Entre los *componentes* de los sistemas tecnológicos se encuentran artefactos técnicos, tales como turbinas generadoras, transformadores, sistemas de iluminación y líneas de transmisión de energía eléctrica.<sup>2</sup> Los sistemas tecnológicos también incluyen organizaciones, tales como firmas industriales, empresas productoras de energía eléctrica y entidades financieras. Incorporan componentes usualmente catalogados como científicos, tales como libros, artículos, el sistema de enseñanza universitaria y los programas de investigación. Artefactos legislativos, tales como leyes

\* Publicado originalmente como "The Evolution of Large Technological Systems", en Bijker, W. E., T. P. Hughes y T. J. Pinch (eds.) (1987), *The Social Construction of Technological Systems. New Directions in the Sociology and History of Technology*, Cambridge, The MIT Press.

<sup>1</sup> El concepto de sistema tecnológico utilizado en este ensayo es menos elegante, pero más útil para los historiadores que tratan con un objeto de mayor complejidad que los conceptos de sistema usados por ingenieros y muchos científicos sociales. Muchos trabajos sobre sistemas, tal como son definidos por ingenieros, científicos y científicos sociales, son Ropohl (1979), Von Bertalanffy (1968) y Parsons (1968). Para referencias posteriores acerca de la extensa literatura sobre sistemas, el lector debería remitirse a las bibliografías de Ropohl y de Von Bertalanffy. Entre los historiadores, Bertrand Gille ha usado la aproximación en términos de sistemas y la ha aplicado a la historia de la tecnología. Véase, por ejemplo, su *Histoire des techniques* (1978).

<sup>2</sup> En este capítulo la palabra "técnico" refiere a los componentes físicos (artefactos) de un sistema tecnológico.

regulativas, igualmente pueden ser parte de los sistemas tecnológicos. Debido a que están socialmente construidos y adaptados para funcionar dentro de sistemas, los recursos naturales, tales como las minas de carbón, también pueden considerarse artefactos de un sistema.<sup>3</sup>

Un artefacto –físico o no físico– funcionando como un componente en un sistema, interactúa con otros artefactos, todos los cuales contribuyen directamente o a través de otros componentes, a una meta común. Si se elimina un componente de un sistema o si sus características cambian, los otros artefactos en el sistema alterarán sus características de acuerdo a ello. En un sistema de iluminación y de distribución de energía eléctrica, por ejemplo, un cambio en la resistencia o la carga en el sistema traerá cambios compensatorios en los componentes de transmisión, distribución y generación. Si existe una evidencia constante de que las políticas de inversión de un banco están coordinadas con las actividades de venta de una fábrica de componentes eléctricos, es probable entonces que haya una interacción sistémica entre ambas; el cambio en la política de uno traerá cambios en la política de la otra. Por ejemplo, los bancos pueden financiar sistemáticamente la compra de plantas de energía eléctrica de un fabricante particular, con el cual comparten propietarios y consejeros de dirección.<sup>4</sup> Si los cursos de una escuela de ingeniería cambian el énfasis del estudio de la corriente continua al de corriente alterna, al mismo tiempo que está cambiando la alimentación de los artefactos físicos en los sistemas eléctricos de corriente continua a corriente alterna, entonces también parece probable la existencia de una relación sistémica. Los profesores que dan los cursos pueden ser consultores regulares de las firmas productoras de electricidad, los alumnos de las escuelas de ingeniería pueden haber

<sup>3</sup> Una mina de carbón es análoga al viento en la red portuguesa descrita por John Law, debido a que los vientos son adaptados por los marinos para su uso en el sistema. Véase Law (1987).

<sup>4</sup> La mayoría de los ejemplos de los sistemas que se usan en este ensayo son tomados de mi *Networks of Power* (1983). Para la relación entre entidades financieras y empresas productoras de energía eléctrica, véanse por ejemplo, las pp. 180-181 y 387-403 de ese libro.

devenido ingenieros y gerentes en las firmas, y los gerentes e ingenieros de la firma pueden formar parte de los consejos de dirección de las escuelas de ingeniería.

Debido a que los componentes de los sistemas tecnológicos son desarrollados por los constructores de sistemas y sus asociados, los mismos son artefactos socialmente construidos. Las personas que construyen los sistemas de energía eléctrica y de iluminación inventan y desarrollan no solo generadores y líneas de transmisión, sino también formas organizacionales tales como empresas productoras de energía eléctrica, así como conglomerados de empresas públicas dedicadas a esta tarea. Algunos constructores de sistemas ampliamente experimentados y dotados pueden inventar equipamiento así como organizaciones, pero usualmente diferentes personas toman estas responsabilidades a medida que un sistema evoluciona. Una de las características primarias de un *constructor de sistemas* es su habilidad para construir o para forzar la unidad a partir de la diversidad, la centralización frente al pluralismo, y la coherencia a partir del caos. Esta construcción muchas veces involucra la destrucción de sistemas alternativos. Los constructores de sistemas en su actividad constructiva son “ingenieros heterogéneos” (Law, 1987).

Debido a que los componentes de un sistema tecnológico interactúan, sus características derivan del sistema. Por ejemplo, la estructura de gerenciamiento de una empresa productora de energía eléctrica, tal como está sugerida por su estatuto, depende del funcionamiento del equipamiento, o los artefactos, en el sistema. A su vez, habitualmente el gerenciamiento en un sistema tecnológico elige componentes técnicos que apoyan la estructura, o la forma organizacional de la gerencia.<sup>5</sup> Más específicamente, la estructura de administración refleja la mezcla económica particular de las plantas de energía del sistema, y la mezcla

<sup>5</sup> Agradezco a Charles Perrow de la Yale University por precaverme respecto a aceptar la teoría contingente de la organización, que sostiene que una organización simplemente refleja el patrón de equipamiento, o los artefactos, de un sistema. Perrow ha contribuido a la clarificación de otros puntos en este ensayo.

en el diseño de las plantas de energía es análoga a la estructura administrativa. La estructura del sistema técnico de una firma también interactúa con su estrategia de negocios.<sup>6</sup> Estas estructuras y estrategias análogas erigen el sistema tecnológico y contribuyen a su *estilo*.

Debido a que sus componentes organizacionales –convencionalmente caracterizados como sociales– son creaciones o artefactos de los constructores de sistemas, en un sistema tecnológico debería evitarse la costumbre de atribuir su existencia a factores sociales tales como el ambiente o el contexto. Estas atribuciones se producen cuando los investigadores se refieren al contexto social de la tecnología o al trasfondo social del cambio tecnológico. Un sistema tecnológico usualmente posee un entorno consistente en factores inflexibles que no se encuentran bajo el control de los administradores del sistema, pero que no son todos organizacionales. Si un factor del entorno –digamos, el suministro de energía– debiera caer bajo el control del sistema, entonces es una parte interactuante de él.

A lo largo del tiempo, los sistemas tecnológicos operan para incorporar el entorno al sistema de manera creciente, de modo tal que se eliminen las fuentes de incertidumbre, tales como lo que alguna vez fuera un mercado de competencia. Tal vez la situación ideal para el control del sistema es un sistema cerrado que no percibe el entorno. En un sistema cerrado, o en un sistema sin entorno, los administradores pueden recurrir a la burocracia, la rutinización y la pérdida de habilidades para eliminar la incertidumbre y la libertad. La predicción a partir de la extrapolación –una característica de los gerentes de sistemas– deviene entonces menos caprichosa.

Los sistemas tecnológicos abiertos se relacionan con dos am-

<sup>6</sup> En contraste con Alfred D. Chandler, Jr. (1966, pp. 15-19), quien ubica los cambios tecnológicos (técnicos) como parte de un contexto, junto a la población y el ingreso, dentro de la cual una organización desarrolla estrategia y estructura, he tratado los cambios técnicos como parte de un sistema tecnológico, incluyendo a las organizaciones. Tomando prestado términos de la arquitectura, se puede decir no solo que en un sistema tecnológico la forma sigue a la función técnica, sino también que la función técnica sigue a la forma organizacional.

bientes posibles: unos respecto de los cuales son dependientes, y otros que dependen de ellos. En ningún caso hay interacción entre el sistema y el ambiente; hay simplemente una influencia unidireccional. Debido a que no están bajo el control del sistema, los factores ambientales que afectan al sistema no deben confundirse con los componentes del mismo. Debido a que no interactúan con el sistema, los factores ambientales dependientes del sistema no deberían considerarse como componentes tampoco. El suministro de combustibles fósiles es habitualmente un factor ambiental del que es dependiente un sistema de energía eléctrica. Una empresa de servicio público que pertenece en su totalidad a una compañía que fabrica artículos eléctricos es parte de un ambiente dependiente, si no tiene influencia sobre las políticas de la empresa, pero debe aceptar sus productos. Por el otro lado, la propiedad no es un indicador seguro de dependencia, dado que la firma puede diseñar sus productos en conjunción con la empresa de servicios.<sup>7</sup> En este caso, la última es un componente que interactúa con el sistema.

Los sistemas tecnológicos se orientan a la *resolución de problemas*, o alcanzan sus metas utilizando cualquier medio que esté disponible y sea apropiado. Los problemas tienen que ver en su mayor parte con el reordenamiento del mundo físico de modos considerados útiles o deseables, al menos por aquellos que diseñan o emplean un sistema tecnológico.

Un problema a ser resuelto, sin embargo, puede postergar la emergencia del sistema como solución. Por ejemplo, las empresas de electricidad estimularon, a través de avisos y otras tácticas de venta, la necesidad de artefactos eléctricos hogareños que habrían de usar electricidad durante las horas en que la demanda era baja.

Esta definición parcial de la tecnología como sistema de resolución de problemas no excluye el modelo de resolución de problemas

<sup>7</sup> La fábrica Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft y la empresa pública Berliner Elektrizitäts-Werke estaban vinculadas por la propiedad y cooperaban sistemáticamente en el diseño y operación de aparatos (Hughes 1983, pp. 175-200).

en el arte, la arquitectura, la medicina o incluso en el juego, pero la definición puede estar focalizada y clarificada por una calificación posterior: es un modo de resolver problemas usualmente implicado con el reordenamiento del mundo material para hacerlo más productivo en términos de bienes y servicios. Martin Heidegger define a la tecnología como un ordenamiento del mundo porque lo vuelve disponible como una "reserva permanente" lista para resolver problemas; por tanto, trata al mundo como los medios para un fin. El desafío por el cual el hombre ordena el mundo, y al mismo tiempo revela su esencia, se llama enmarcamiento (*Gestell*) (Heidegger, 1977, p. 19).

Los sistemas tecnológicos están definidos por los límites del control ejercido por los operadores artefactuales y humanos. En el caso de un sistema de energía eléctrica, un centro de distribución de carga con sus sistemas de energía eléctrica y sus artefactos de control y sus distribuidores de carga humanos, son el principal centro de control para las plantas de energía y para la transmisión y las líneas de distribución en el sistema. Un centro de distribución de carga es, sin embargo, parte del sistema de control jerárquico que involucra a la estructura de administración de la empresa. Esta estructura puede estar sujeta en sí misma al control de un conglomerado de empresas que incorpora a otras empresas, a bancos, fabricantes, e incluso agencias reguladoras. Una empresa de energía eléctrica pública puede estar interconectada con otras empresas para formar un sistema de electricidad regional, controlado centralmente. Los sistemas de electricidad regionales algunas veces están integrados física y organizacionalmente con empresas carboníferas, e incluso con empresas manufactureras que usan electricidad. Esto era común en la región del Ruhr, en los años que transcurrieron entre la Primera y la Segunda Guerra Mundial. Como muñecas rusas, los sistemas se incluyen jerárquicamente en un patrón de sistemas y subsistemas.

Inventores, científicos industriales, ingenieros, administradores, financistas y trabajadores son componentes pero no artefactos del sistema. Sin haber sido creados por los constructores de sistemas, los individuos y los grupos en los sistemas poseen grados de libertad, de

la que carecen los artefactos. Los constructores de sistemas modernos, sin embargo, han tendido a burocratizarse, a perder habilidades, y a rutinizarse en función de minimizar el papel voluntario de los trabajadores y el personal administrativo dentro de un sistema. A principios del siglo XX, el programa de administración científica de Frederick W. Taylor organizó el trabajo como si fuera un componente inanimado de la producción de sistemas. Más recientemente, algunos constructores de sistemas han diseñado sistemas que proveen la oportunidad de definir los componentes laborales de un sistema al trabajo. La acción voluntaria no adviene al trabajo tal como funciona en el sistema, sino del modo en que diseña sus funciones. Una función crucial de las personas en los sistemas tecnológicos, más allá de su obvio papel en inventar, diseñar y desarrollar sistemas, es completar el circuito de realimentación entre las realizaciones del sistema y sus metas, y al hacer esto, corregir los errores que surgen en el rendimiento del mismo. Tal como se mostrará, el grado de libertad ejercido por las personas, en contraste con el rendimiento rutinario, depende de la madurez y el tamaño, o a la autonomía, de un sistema tecnológico. Los sistemas viejos, tal como las personas viejas, tienden a ser menos adaptables, pero los sistemas no se debilitan y terminan desapareciendo de manera sencilla. Los grandes sistemas con un gran *momentum* tienden a ejercer un determinismo suave sobre otros sistemas, grupos, e individuos en la sociedad.

Los inventores, los organizadores y los administradores de los sistemas tecnológicos prefieren en su mayor parte las jerarquías, por lo que a lo largo del tiempo los sistemas tienden hacia una estructura jerárquica. Por lo tanto, quien define y describe un sistema debe delimitar el nivel de análisis o el subsistema que le interesa (Constant, 1987). Por ejemplo, los artefactos físicos que interactúan pueden ser designados como un sistema, o pueden ser designados de tal modo los artefactos físicos más las organizaciones que interactúan. En un sistema de energía eléctrica, las turbinas generadoras pueden ser vistas como un sistema con componentes tales como turbinas y generadores. De tal modo los analistas de sistemas deberían dejar claro, o al menos

tener claro en sus mentes, que el sistema de interés puede ser un subsistema tanto como un sistema que abarque sus propios subsistemas. En un gran sistema tecnológico hay innumerables oportunidades para aislar subsistemas y llamarlos sistemas con el propósito de comprenderlos y analizarlos. Al hacer esto, sin embargo, uno desgarrar el tejido de la realidad y puede ofrecer solo un análisis parcial, o incluso distorsionado, del comportamiento del sistema.

Definir o describir la elección del nivel de análisis al interior de un sistema jerárquico, desde un artefacto físico hasta el sistema mundial, puede ser un acto notoriamente político. Por ejemplo, un sistema de electricidad puede ser definido de tal modo que las externalidades o los costos sociales sean excluidos del análisis. Los libros de texto para los estudiantes de ingeniería habitualmente limitan los sistemas tecnológicos a los componentes técnicos, dejando de tal modo a los estudiantes con la impresión equivocada de que los problemas del crecimiento del sistema y su administración están netamente circunscriptos y excluyen factores muchas veces descriptos peyorativamente como "políticos". Por otro lado, los economistas neoclásicos que analizan los sistemas de producción habitualmente tratan los factores técnicos como exógenos. Por su parte algunos científicos sociales elevan el nivel de análisis y abstracción a tal punto que no otorgan importancia al contenido técnico de los sistemas.

Un sistema tecnológico tiene insumos y productos. Muchas veces los mismos pueden ser subsumidos bajo un rótulo general. Por ejemplo, un sistema de energía eléctrica tiene calor o energía mecánica como su insumo principal, y energía eléctrica como producto. Dentro del sistema, los subsistemas están vinculados por insumos y productos intermedios, o lo que los ingenieros llaman interfaces. Una compañía de manufactura de artefactos eléctricos puede tomar energía eléctrica de una empresa dentro del sistema y suministrar equipamiento generador a la misma. La compañía puede también obtener ingresos de las ganancias de la empresa de energía eléctrica y del equipamiento que le vende, y luego reinvertirlas en la misma empresa. Ambas pueden intercambiar información acerca del rendimiento del equipamiento para

propósitos de diseño y operación. Un banco puede obtener beneficios de sus inversiones en una empresa de manufacturas y de energía eléctrica, y también invertir en estas empresas. La información financiera y técnica sobre la luz y los sistemas de energía eléctrica también es intercambiada. En los ejemplos dados, uno asume consejos de dirección, administración y control compartidos.

#### PATRONES DE EVOLUCIÓN

Los grandes sistemas tecnológicos modernos parecen evolucionar de acuerdo a un patrón que ha sido pobremente definido. Las historias de un conjunto de sistemas, especialmente la historia de la energía eléctrica entre 1870 y 1940, despliegan el patrón que se describe en este artículo. La muestra no es lo suficientemente extensa, sin embargo, para permitir enunciados cuantitativos tales como "la mayoría". Ejemplos relevantes de la historia de los sistemas tecnológicos modernos, muchos del sistema eléctrico, apoyan o ilustran mis argumentos. Uso también un conjunto de conceptos interrelacionados para describir los patrones de evolución. El concepto de *salientes reversas* (*reversal salients*), por ejemplo, puede ser apreciado solo si está relacionado al concepto de sistema usado en este artículo. El concepto de *estilo tecnológico* debería estar relacionado al concepto de transferencia tecnológica. El término "patrón" es preferible al de "modelo" debido a que patrón es una metáfora que sugiere laxitud y una tendencia a desenvolverse o desplegarse.

El patrón sugerido pertenece a sistemas que evolucionan y se expanden, tal como lo hicieron muchos sistemas originados en el siglo XIX. Con la creciente complejidad de los sistemas, el número de componentes y de problemas de control se incrementó. Los problemas de control intensos han sido denominados crisis de control (Beniger, 1984). Las grandes computadoras constituyeron una respuesta parcial. Se ofrece aquí una explicación a la tendencia de los sistemas a expandirse. El estudio de los incontables sistemas que se contrajeron a lo

largo de la historia ayudará a explicar el crecimiento por comparación y contraste. Los historiadores de sistemas necesitan contar entre sus miembros no solo a Charles Darwin, sino también a Edward Gibbons.

La historia de los sistemas que evolucionan o se expanden puede presentarse de acuerdo a las fases en las cuales predomina alguna de las siguientes actividades: invención, desarrollo, innovación, transferencia, crecimiento, competencia y consolidación. En la medida que los sistemas maduran, adquieren estilo y *momentum*. En este trabajo, el estilo es discutido en conjunción con la transferencia, y el *momentum* es discutido después de la sección sobre crecimiento, competencia y consolidación. Las fases de la historia de un sistema tecnológico no son simplemente secuenciales; existen solapamientos y retrocesos. Después de la invención, el desarrollo y la innovación, hay más invención. La transferencia puede no venir necesariamente después de la innovación, sino que también puede ocurrir en otros momentos de la historia de un sistema. Una vez más, debería enfatizarse que la invención, el desarrollo, la innovación, la transferencia, y el crecimiento, la competencia y la consolidación, pueden ocurrir a lo largo de la historia de un sistema pero no necesariamente en ese orden. La tesis aquí es que un patrón es discernible debido a que una o varias de estas actividades predominan durante la secuencia de fases sugerida.

Las fases pueden ser ordenadas posteriormente, de acuerdo al tipo de constructor de sistemas que es más activo como ejecutor de las decisiones críticas.<sup>8</sup> Durante la invención y el desarrollo los inventores-empresarios resuelven problemas críticos; durante la innovación, la competencia y el crecimiento, los administradores-empresarios toman decisiones cruciales; y durante la consolidación y la racionalización los financistas-empresarios y los ingenieros consultores, especialmente aquellos que tienen influencia política, muchas veces resuelven los problemas críticos asociados con el crecimiento y el *momentum*.

Dependiendo del grado necesario de adaptación a las nuevas

<sup>8</sup> Para un conjunto extenso de casos históricos que apoyan el modelo sugerido de fases y las secuencias de construcción de los sistemas, véase Hughes (1983).

circunstancias, pueden prevalecer en el proceso de transferencia tanto inventores-empresarios como administradores-empresarios. Debido a que sus tareas demandan los atributos de un generalista dedicado a cambiar, más que los atributos de un especialista, el término "empresario" (*entrepreneur*) es utilizado para describir a los constructores de sistemas. Edison provee un ejemplo excelente para la noción de inventor-empresario: además de inventar de manera sistemática, resolvió problemas administrativos y financieros para lograr que su invención fuera usada. Sin embargo, al menos como joven inventor, su corazón estaba situado en la invención. Elmer Sperry, un inventor más profesional y dedicado que Edison, pero también un empresario, consideraba el gerenciamiento y las finanzas como un medio necesario pero aburrido de lograr que sus amadas invenciones fueran utilizadas (Hughes, 1971, pp. 41, 52-53).

#### INVENCIÓN

Conglomerados de empresas, plantas de energía eléctrica y lámparas eléctricas, son todas invenciones. Inventores, gerentes y financistas son algunos de los inventores de los componentes de los sistemas. Las invenciones ocurren, obviamente, durante la fase inventiva, pero también durante otras fases. Las invenciones pueden ser conservadoras o radicales. Las que se producen durante la fase de invención son radicales debido a que inauguran un nuevo sistema; las invenciones conservadoras predominan durante la fase de competencia y de crecimiento, debido a que mejoran o expanden los sistemas existentes. Debido a que las invenciones radicales no contribuyen al crecimiento de los sistemas tecnológicos existentes (que son presididos por entidades más grandes, a las que están vinculadas sistémicamente, y en las que están apoyados financieramente) las organizaciones raramente estimulan una invención radical. Debe enfatizarse que el término "radical" no es usado aquí, del modo común, para sugerir efectos sociales trascendentales. Las invenciones radicales no necesariamente tienen efectos sociales

mayores a las invenciones conservadoras, pero tal como son definidas aquí, son invenciones que no devienen componentes de los sistemas existentes.

Los inventores profesionales independientes concibieron un número desproporcionado de invenciones radicales a finales del siglo XIX y principios del XX (Jewkes *et al.*, 1969, pp. 79-103). Muchas de sus invenciones inauguraron importantes sistemas tecnológicos que solo después pasaron a ser promovidas por grandes organizaciones; entonces tales invenciones se estabilizaron y adquirieron *momentum*. Algunos ejemplos notables de inventores independientes y de las invenciones radicales que sembraron las semillas de grandes sistemas presididos por nuevas organizaciones son: Bell y el teléfono, Edison y el sistema eléctrico, Charles Parsons y Karl Gustaf Patrik de Laval y la turbina de vapor, los hermanos Wright y el aeroplano, Marconi y el telégrafo sin hilos, H. Anschütz-Kaempfe y Elmer Sperry y el sistema de control guiado por compás giroscópico, Ferdinand von Zeppelin y el dirigible, Frank Whittle y el motor a reacción.<sup>9</sup> Aún cuando la tradición asigna las invenciones de la lista a estos inventores independientes, debería enfatizarse que otros inventores, muchos de ellos independientes, también contribuyeron sustancialmente a la inauguración de nuevos sistemas. Por ejemplo, el alemán Friedrich Haselwander, el norteamericano C. S. Bradley y el sueco Jonas Wenström sacaron patentes en sistemas eléctricos multifásicos al mismo tiempo que Tesla; y Joseph Swan, el inventor británico, debería compartir el crédito con Edison no solo por la invención de la lámpara durable de filamento incandescente, sino incluso también por el sistema de la lámpara incandescente.

Aún cuando las invenciones radicales inauguran nuevos sistemas, a menudo son mejoras realizadas a invenciones anteriores, similares, que fracasaron a la hora de transformarse en innovaciones. Los

historiadores poseen un rico campo de estudio entre los restos fósiles de estas invenciones fracasadas. Elmer Sperry, que contribuyó al establecimiento de diversos sistemas tecnológicos significativos, insistía en que todas sus invenciones, incluyendo las radicales, eran mejoramientos de trabajos anteriores de otros (Sperry, 1930, p. 63). La intensa solicitud de patentes realizada por inventores independientes refuerza este punto.

Los términos “independientes” y “profesionales” conceden la complejidad necesaria al concepto de inventor. Libres de los constreñimientos de las organizaciones, tales como los laboratorios de investigación –industriales o gubernamentales–, los inventores independientes pueden deambular ampliamente para elegir problemas para los cuales esperan encontrar soluciones bajo la forma de invenciones. Los inventores independientes muchas veces tienen sus propias instalaciones para investigar (o laboratorios), pero no están integrados a los sistemas existentes, como es usual en el caso de los laboratorios de investigación industriales y gubernamentales. No todos los inventores independientes son “profesionales”: los inventores profesionales apoyan sus actividades inventivas durante un lapso prolongado de tiempo por medio de una serie de invenciones comercialmente exitosas. No son empleados asalariados, aún cuando pueden cobrar honorarios por consultas. Muchos independientes que no eran profesionales, como Alexander Graham Bell, ganaron una inmensa fortuna a partir de muchas invenciones mayores y luego eligieron vivir, o disfrutar la vida, de un modo distinto. Elmer Sperry, Elihu Thomson, Edward Weston, Thomas Edison y Nikola Tesla son ejemplos sobresalientes de inventores que persistieron como profesionales por un extenso período, a lo largo de finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX.

Los inventores independientes que florecieron a finales del siglo XIX y principios del siglo XX tendieron a concentrarse en invenciones radicales por razones a veces obvias, a veces oscuras. Tal como se ha notado, no estaban constreñidos en sus elecciones de problemas por organizaciones orientadas por objetivos, y con gran inercia. Prudentemente evitaron elegir problemas que podrían haber sido elegidos

<sup>9</sup> Las compañías telefónicas y de telégrafos tuvieron un papel menor en la historia temprana de la telefonía sin hilos; los fabricantes de compases no tomaron a su cargo la fabricación del girocompás; y los fabricantes de aviones de la época proveyeron poco apoyo a las actividades iniciales de fabricación de turbinas.

también por equipos de investigadores y creadores que trabajaban en departamentos de ingeniería de compañías, o laboratorios de investigación industrial. Psicológicamente, tenían la mentalidad de un marginal, buscando también la emoción de una transformación tecnológica de importancia. Muchas veces alcanzaron rupturas dramáticas, no mejoras incrementales. Elmer Sperry, el inventor independiente, dijo:

Si pasase una vida entera trabajando en una dinamo probablemente podría hacer mi pequeña contribución para aumentar la eficiencia de esa máquina con un seis o siete por ciento. Ahora bien, hay un montón de artes que necesitan electricidad, alrededor de cuatrocientos o quinientos por ciento, déjame abordar una de aquellas (Sperry, 1930, p. 63).

Para lograr esas rupturas, los independientes tienen la lucidez para distanciarse de las grandes organizaciones, percibiendo correctamente que las mismas, involucradas con las tecnologías existentes, raramente fomentan invenciones que por su naturaleza no contribuyen en nada al *momentum* de estas organizaciones, desafiando incluso el *statu quo* del mundo tecnológico donde la organización es un miembro líder. Las invenciones radicales muchas veces eliminan las habilidades de los trabajadores, los ingenieros y los gerentes, destruyendo inversiones financieras, y estimulando por lo general la ansiedad. Las grandes organizaciones rechazan algunas veces las propuestas de los inventores radicales por considerarlas técnicamente toscas y económicamente riesgosas, pero al hacer esto están simplemente reconociendo el carácter de lo nuevo y lo radical.

En la década de 1920, muchas de las mayores compañías de petróleo del mundo rechazaron las propuestas hechas por el inventor francés Eugene Jules Houdry para refinar gasolina de un modo radicalmente distinto, a través de agentes catalíticos. Los equipos de ingenieros de las compañías establecidas justificaron su rechazo citando la falta de detalles de ingeniería y los problemas no resueltos en el proceso tal como lo había desarrollado hasta entonces Houdry. Al parecer no tomaron en cuenta que en verdad esto es una característica común

entre las invenciones radicales en la fase de desarrollo. Luego de su desarrollo en la década de 1930 por parte de la Sun Oil Company, una innovadora refinería relativamente pequeña e independiente de los Estados Unidos, el proceso de Houdry trajo rendimientos sustancialmente incrementados de gasolina a partir de una determinada cantidad de petróleo crudo, y devino en la envidia y en un modelo para la industria petrolera (Enos, 1962, pp. 137, 140-141).

Los inventores independientes, como Houdry, tienen libertad pero también más dificultad para identificar problemas que los inventores y científicos que trabajan en departamentos de ingeniería en grandes compañías o laboratorios de investigación industrial. En diversas ocasiones notables, los académicos estimularon las elecciones de problemas de los inventores independientes que florecieron a finales del siglo XIX y comienzos del XX. Charles Hall escuchó decir a su profesor de ciencia que el mundo esperaba al inventor que pudiera encontrar un medio práctico para fundir el aluminio; un profesor del Politécnico de Graz, en Austria, estimuló a Nikola Tesla a embarcarse en la búsqueda que culminó en su sistema eléctrico polifásico (Hughes, 1983, p. 113); el profesor Carl von Linde del Politécnico de Munich definió un problema para su estudiante Rudolf Diesel que, eventualmente, dio como resultado el motor Diesel (Diesel, 1953, p. 97); y el profesor de física William A. Anthony de la Universidad de Cornell esbozó varios problemas para el joven Elmer Sperry, que concluyeron en sus principales patentes iniciales.<sup>10</sup> Tal vez la imaginación de los académicos vagaba libremente debido a que, como los inventores independientes, no estaban atados a la industria pero al mismo tiempo estaban ampliamente familiarizados con la literatura técnica y científica.

A pesar de la amplia opinión existente en sentido contrario, los inventores publican. Publican patentes, y habitualmente publican descripciones de sus invenciones patentadas en revistas técnicas. Los artículos técnicos, algunas veces escritos por los inventores, algunas veces

<sup>10</sup> Anthony le dijo a Sperry que había necesidad de un generador de corriente continua regulado automáticamente (Hughes, 1971, p. 16).

con la colaboración de periodistas técnicos, les traen no solo reconocimiento sino también publicidad de valor comercial. Aún siendo una patente o un artículo, la publicación informa a la comunidad de inventores acerca de la localización de la actividad de invención, y los alerta sobre los problemas que necesitan atención. Dado que rara vez una patente o una invención es la solución definitiva a un problema, los inventores experimentados se dan cuenta de que un problema básico puede ser solucionado por medio de diversos caminos patentables, incluyendo el propio. De tal modo, manteniéndose al tanto de las patentes y las publicaciones, los inventores pueden identificar áreas de problemas. Esto ayuda a explicar por qué las patentes tienden a agruparse alrededor de algunos problemas a lo largo de un periodo de varios años.

Los inventores profesionales tienen otras razones para la elección que hacen de los problemas: al evitar aquellos temas en los que están trabajando los departamentos de ingeniería y los laboratorios de investigación industrial, los independientes limitan sus elecciones. El desafío que presentan los problemas atractivos en los que varios han fracasado, habitualmente estimula las elecciones del independiente. Sin estar fuertemente motivados por una necesidad definida, exhiben una alegría elemental en la resolución de un problema como un fin en sí mismo. Alexander Graham Bell, un profesor de elocución y una autoridad en sordera, viendo la analogía entre los problemas acústicos y eléctricos, persiguió la meta de un telégrafo para hablar, a pesar de la advertencia de sus amigos y anunciantes que le urgieron que continuara concentrándose en el problema de telégrafo por hilo múltiple (un problema de la industria telegráfica definido de manera conservadora). Otro independiente, Elisha Gray, quien también estaba trabajando en el problema del telégrafo por hilo múltiple, y vio también la posibilidad del telégrafo para hablar, tomó la decisión conservadora y se concentró en el primer problema (Hounshell, 1975).

Los profesionales independientes no solo tienen libertad para elegir sus problemas, sino también la menos deseable libertad respecto al apoyo financiero de las organizaciones. Su respuesta ha sido ingeniosa. Con el cambio de siglo, habitualmente intercambiaron propiedad in-

telectual por dinero. En una época anterior a que la patente deviniera esencialmente una licencia para litigar (y antes de que las grandes compañías amasaran los recursos como para involucrar a un independiente en un litigio hasta el punto de la extenuación financiera), los profesionales independientes transformaron sus ideas en propiedad bajo la forma de patentes. Habiendo hecho esto, vendieron su propiedad intelectual a personas con otras formas de propiedad, especialmente dinero. Algunas veces el inventor y el financiero depositaron cada uno tantas patentes y tanto efectivo como para explotar la patente, dividiendo el *stock* de la nueva compañía fundada. En los democráticos Estados Unidos, la habilidad de un inventor autoestablecido para adecuar el ingenio con las ganancias de los financistas –presumiblemente mal habidas– se veía como algo maravillosamente meritocrático.

En la medida en que la carrera armamentista –especialmente la naval– incrementó su intensidad antes de la Primera Guerra Mundial, los inventores se orientaron al gobierno con el fin de obtener fondos para sus desarrollos. El dinero llegó bajo la forma de contratos para suministrar aeroplanos, telégrafos sin hilos, mecanismos de control de tiro, y otros artefactos de alta tecnología que estaban a la orden del día. Los gobiernos realizaban contratos por algunos modelos que eran en su esencia, diseños experimentales. Con los ingresos de estos contratos, los inventores invirtieron en desarrollos posteriores. Con el fin de realizar contratos con las fuerzas armadas, muchos de los inventores se aliaron con financistas para formar pequeñas compañías. Existía la posibilidad de que la compañía floreciera, y que luego el inventor cargara con un compromiso creado por él mismo. Sin embargo, muchas de las compañías colapsaron, dejando que el inventor saboreara nuevamente la independencia. Los independientes también conseguían fondos estableciendo consultorías u organizando pequeñas compañías de investigación y desarrollo que habrían de desarrollar las invenciones propias o las de otros. Tal vez el ideal de financiamiento y libertad adviniera cuando, a lo largo de los años, el inventor poseyera un número de patentes lo suficientemente grande como para adquirir un monto de ingresos estable para reinvertirlo en las invenciones. A

menudo invertía en talleres, equipamiento de laboratorio y un equipo de trabajo, dado que, en contra del mito, los inventores independientes no eran necesariamente inventores “solitarios”.

Un aspecto de las invenciones radicales menos comprendido que el tema de la elección de los problemas y del financiamiento reside en el corazón del asunto: los momentos de inspiración o los momentos del ¡Eureka! Existe un útil corpus de literatura sobre la psicología de la invención y el descubrimiento, pero la misma carece de estudios de caso que estén explorados en profundidad y estén bien sustentados.<sup>11</sup> Los mismos inventores raramente han hablado de su momento de inspiración. Sin embargo, existen pistas a seguir, tan poco exploradas como prometedoras. Frecuentemente, los inventores hablan de sus invenciones en términos de metáforas o analogías. Una analogía es concebir que una invención lleva al creador de lo conocido, a lo desconocido. Los inventores habitualmente desarrollan un mecanismo o proceso particular que luego expresan bajo la forma de un concepto abstracto, probablemente visual, que subsecuentemente deviene en una solución generalizada. Planteado de este modo, el inventor se convierte en una solución que busca un problema. Estas ideas, sin embargo, solo son provocadoras. Los historiadores y los sociólogos de la tecnología deberían juntarse con los psicólogos con el fin de explorar el acto de la creación.<sup>12</sup>

## DESARROLLO

Si son desarrolladas con éxito, las invenciones radicales culminan en sistemas tecnológicos. Un inventor puede ser responsable de la mayoría o de todas las invenciones que devienen en la causa inmediata de un sistema tecnológico. El mismo inventor puede presidir el desarrollo de

<sup>11</sup> Véase por ejemplo Arieti (1976) y la bibliografía añadida.

<sup>12</sup> Arthur Koestler provee imaginativos elementos en *The Act of Creation* (1964). Arieti (1976) también es estimulante.

la invención hasta que resulta en una innovación, o un nuevo sistema tecnológico en uso. Si un inventor se prueba responsable por la mayoría de las invenciones radicales y el desarrollo de las mismas, entonces él o ella merece plenamente la designación de inventor-empresario.

El desarrollo es la fase en la cual el carácter social de la construcción de la tecnología deviene transparente. Durante la transformación de la invención en una innovación, el inventor-empresario y sus asociados incorporan en sus invenciones las características económicas, políticas, y sociales que necesitan para sobrevivir en el mundo que habrá de utilizarlos. La invención cambia de una idea relativamente simple que puede funcionar en un ambiente no más complejo que el que se puede constituir en la mente de un inventor, a un sistema que puede funcionar en un ambiente permeado por varios factores y fuerzas. Para hacer esto, el inventor-empresario construye entornos experimentales, o de prueba, los cuales son sucesivamente más complejos y más parecidos al mundo de uso que encontrará el sistema al convertirse en innovación. Elmer Sperry, por ejemplo, al haber redactado –probablemente para sí– las ecuaciones de su concepto para un estabilizador giroscópico para barcos, dio una forma material a la idea con el modelo de un buque balanceándose, que consistía en un péndulo simple y un giróscopo de laboratorio. En el siguiente paso, rediseñó la invención, haciéndola más compleja, y experimentó en un ambiente que incluía más variables propias de barcos y océanos que las que podía proveer el simple péndulo. Con el tiempo, el modelo alcanzó un nivel de complejidad tal que –en la opinión de Sperry– le permitía acomodarlo al tipo de variables que existían en el mundo que habría de utilizarlo. Probó el estabilizador en un destructor provisto por la marina de los Estados Unidos. Probar invenciones como si fueran fórmulas matemáticas –y como modelos simplificados hasta el punto de ser abstracciones científicas– permite pequeñas inversiones y pequeños fracasos antes de intentar costosas y aventuradas pruebas de uso real.

Hay incontables ejemplos de inventores-empresarios independientes que proveen a sus invenciones con las características económicas y políticas que necesitan para sobrevivir. La conciencia de Edison

acerca del precio de la iluminación a gas influyó profundamente en el diseño de un sistema de luz eléctrica que fuese competitivo. A comienzos de la década de 1880 en Inglaterra, Lucien Gaulard y John Gibbs inventaron un transformador con características físicas que permitieron que el voltaje de salida del transformador variase tal como lo requería la Ley de Iluminación Eléctrica (Hughes, 1983, pp. 34-38, 89-90). Los hermanos Wright tomaron cuidadosamente en cuenta la psicología y la fisiología de los pilotos que debían mantener la estabilidad de sus aparatos. De acuerdo a David Noble, los sistemas digitales de las máquinas-herramientas contienen los intereses de la clase gerencial (Noble, 1979).

Debido a que nuevos problemas surgen en la medida que el sistema es provisto de variadas características, los inventores-empresarios radicales continúan inventando durante el período de desarrollo. Debido a que los problemas surgen a partir de las relaciones sistémicas de los componentes de los sistemas que están siendo inventados, la elección de problemas durante el proceso de desarrollo deviene más fácil. Si, por ejemplo, durante el desarrollo el inventor varía las características de un componente, entonces las características de los otros componentes interrelacionados usualmente deben variar subordinadamente. Esta armonización de las características de los componentes durante el desarrollo, resulta muchas veces en invenciones patentables. Una familia entera de patentes algunas veces acompaña el desarrollo de un sistema complejo.

Una gran organización que se encuentra inventando y desarrollando un sistema puede asignar subproyectos y problemas a diferentes tipos de profesionales. Cuando la Westinghouse Corporation desarrolló el sistema de transmisión de energía eléctrica multifásica creado por Tesla, lo utilizó como consultor, pero en última instancia un talentoso grupo de ingenieros de la Westinghouse hizo que el sistema funcionara (Passer, 1953, pp. 276-282). Los físicos, especialmente los académicos, han probado ser algunas veces más adeptos a la invención que los ingenieros, quienes habitualmente expresan su preferencia y capacidad en el desarrollo. Hasta la Segunda Guerra Mundial, los físicos académi-

cos eran relativamente libres respecto a los condicionamientos de las organizaciones. Durante la Segunda Guerra Mundial este esquema de pensamiento sobrevivió, incluso en proyectos tales como el Laboratorio de Radiación en Cambridge, Massachusetts, el Proyecto Manhattan en Chicago bajo Arthur Compton, y el laboratorio de Los Alamos bajo Robert Oppenheimer. Desde el final del siglo XIX, los ingenieros han estado asociados con las grandes corporaciones industriales o, en el caso de los ingenieros académicos, han tendido a observar al sector industrial para la definición de los problemas de investigación (Noble, 1977, pp. 33-49).

La relación entre los ingenieros y los científicos -y entre la tecnología y la ciencia- ha concentrado la atención de los historiadores por mucho tiempo, especialmente la de los historiadores de la ciencia. Desde el punto de vista del sistema, la distinción tiende a desvanecerse. Hay innumerables casos de personas formalmente entrenadas en ciencia (que desean que sus métodos sean catalogados de científicos) que están totalmente inmersos en invenciones y en el desarrollo de tecnología.<sup>13</sup> Ingenieros e inventores formalmente entrenados en asignaturas catalogadas como científicas no han dudado en utilizar el conocimiento y los métodos adquiridos. Personas emocional e intelectualmente comprometidas con la resolución de problemas, y asociados con la creación y el desarrollo de sistemas raramente toman nota de las fronteras disciplinarias, a menos que la burocracia haya tomado el control de la situación.

## INNOVACIÓN

La innovación revela claramente los sistemas tecnológicos complejos. El inventor-empresario (junto con sus ingenieros asociados, los

<sup>13</sup> Véase por ejemplo Hoddeson (1981), Wise (1980) y Hughes (1976b). Para un análisis de las posiciones tomadas en la revista *Technology & Culture*, véase Staudenmaier (1985, pp. 83-120).

científicos industriales, y otros inventores que ayudan a convertir en utilizable a un producto) a menudo combinan los componentes físicos inventados y desarrollados en un complejo sistema que consiste en manufacturas, ventas y servicios. Por otro lado, más que establecer una nueva compañía, el inventor-empresario a veces provee especificaciones, permitiendo que las firmas establecidas fabriquen el producto o provean el servicio. Muchos de los profesionales independientes de finales del siglo XIX y comienzos del XX, sin embargo, fundaron sus propios sistemas de producción, ventas y servicios debido a que cuando se producían invenciones radicales, las empresas establecidas eran a menudo reacias a proveer las nuevas máquinas, procesos y organizaciones necesarias para la manufactura. Los inventores-empresarios optaron por involucrarse en la fabricación porque deseaban introducir un proceso de producción relacionado de manera sistémica con la invención. A menudo inventaban y desarrollaban tanto el producto como el proceso de manufactura correspondiente. Por otra parte, si la invención era conservadora en esencia, una mejora en el sistema en marcha, a menudo el fabricante a cargo del sistema estaría interesado en producir la invención.

George Eastman, por ejemplo, se concentró en la invención y el desarrollo de maquinaria para los dispositivos de fotografía inventados por él y su socio William Hall Walker. Eastman, al mismo tiempo que desarrollaba un sistema de plancha seca, obtuvo una patente en 1880 para una máquina de proceso continuo de producción de placas de vidrio revestidas con una emulsión de gelatina. Luego Eastman inventó con Walker una película fotográfica y un sistema de carretes para reemplazar las placas de vidrio que se usaban. Posteriormente, Eastman se concentró en el diseño de maquinaria para la producción mientras que Walker dirigió su atención a la invención y el desarrollo de cámaras. A finales de 1884, los dos habían desarrollado, junto con el mecanismo de soporte y la película, la maquinaria para su producción. Eastman también dedicó sus talentos inventivos a la producción de maquinaria en el desarrollo del sistema Kodak de fotografía amateur (Jenkins, 1975).

Edison también provee un ejemplo clásico del inventor-empresario que presidió la introducción de un sistema complejo de producción y uso. Edison tuvo la asistencia de otros inventores, gerentes y financistas, con los que estaba asociado, pero él, más que cualquier otro individuo, gobernó la intrincada empresa. El organigrama de 1882 de las compañías fundadas por Edison esquematiza la complejidad del sistema tecnológico. Entre las compañías de Edison se encontraban: a) la Edison Electric Light Company, formada para financiar las invenciones, las patentes, el desarrollo del sistema eléctrico creado por Edison, así como la licencia para instalarlo; b) la Edison Electric Illuminating Company of New York, la primera de las empresas de electricidad urbana de Edison; c) la Edison Machine Works, fundada para fabricar las dinamos patentadas por Edison; d) la (Edison) Electric Tube Company, establecida por Edison para fabricar los conductores subterráneos para su sistema; y e) la Edison Lamp Works (Jones, 1940, p. 41). Cuando Edison se embarcó en la invención de un sistema de iluminación incandescente, difícilmente podría haber anticipado la complejidad que habría de adquirir finalmente la empresa.

Los constructores de sistemas, tales como Eastman y Edison, pugnan por incrementar el tamaño del sistema bajo su control y reducir el tamaño del entorno que no se encuentra bajo su control. En el caso del sistema de Edison en la etapa de la innovación, las empresas de electricidad, principales usuarias del equipamiento patentado por la Edison Electric Light Company, y que era fabricado por el conjunto de las compañías de Edison, estaban siendo incorporadas en el sistema. El mismo grupo de inversores dueño de la compañía tenedora de la patente poseía también la Edison Electric Illuminating Company of New York, la primera de las empresas de electricidad urbana. Los propietarios de las empresas de Edison aceptaron las acciones de otras empresas de electricidad a cambio de equipamiento, construyendo de tal modo un imperio de empresas de electricidad urbana diversamente controlado y poseído. Políticas similares fueron seguidas posteriormente por grandes fabricantes en Alemania. La absorción de las organizaciones de oferta y demanda por parte de

los fabricantes tendió a eliminar la dicotomía interno/externo de los sistemas, una dicotomía evitada por Michel Callon en su análisis de los actores-redes (Callon, 1897).

Una vez que la innovación se produce, los inventores-empresarios tienden a desdibujarse respecto del punto focal de la actividad. Algunos pueden mantenerse con una compañía exitosa formada sobre la base de sus patentes, pero usualmente no devienen en administradores-empresarios. Elihu Thomson (1853-1937), un inventor norteamericano prolífico e importante que obtuvo 696 patentes a lo largo de cinco décadas, devino en el director de investigaciones para la Thomson Houston Company, una fábrica de artefactos eléctricos fundada sobre la base de sus patentes. Posteriormente sirvió como investigador principal e inventor en la General Electric Company, formada en 1892 por una fusión de la Thomson-Houston y la Edison General Electric Company. El punto de vista de Thomson siguió siendo el de un inventor, y el contraste entre este y las perspectivas de los gerentes-empresarios acerca de la General Electric Company, devino en claro conflicto. Negociaciones diplomáticas por parte de gerentes como Charles A. Coffin, temprano director de la GE, reconciliaron al laboratorio con la oficina financiera de la empresa (Carlson, 1983). El gerente-empresario, luego de la innovación, gradualmente desplazó al inventor como aquel que enfrentaba las principales salientes reversas y como aquel que resolvía los problemas asociados con ellas.

#### TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

La transferencia de tecnología puede ocurrir en cualquier momento durante la historia de los sistemas tecnológicos. La dinámica posterior a la innovación revela probablemente del modo más claro aspectos interesantes de la transferencia, dado que el sistema tecnológico no está cargado con las complejidades adicionales que adquieren con el tiempo y el *momentum*. Debido a que un sistema usualmente ha incorporado características que son satisfactorias para la supervivencia en

un tiempo y lugar particulares, a menudo surgen dificultades múltiples cuando se transfieren a otros momentos o entornos. Dado que un sistema usualmente necesita adaptarse a las características de un tiempo o lugar diferentes, los conceptos de transferencia y adaptación están vinculados. Más que la adaptación, los historiadores que han analizado la transferencia han enfatizado más los modos de transferencia.<sup>14</sup>

Los aspectos de la adaptación pueden ejemplificarse con episodios bosquejados a partir de la historia temprana del transformador. Como se ha señalado, Lucien Gaulard y John Gibbs introdujeron un transformador con características que se adecuaban a la legislación sobre la iluminación eléctrica británica. Organizaron varias pruebas e instalaciones permanentes de su transformador a comienzos de la década de 1880. En 1884 Otto Titus Bláthy y Charles Zipernowski, dos experimentados ingenieros de la Ganz & Company, la principal productora de electricidad en Hungría, vieron el transformador en una exhibición en Turín, Italia. Lo rediseñaron para el sistema de Ganz y para las condiciones húngaras, en las cuales la legislación eléctrica no requería las complejas características incorporadas en el dispositivo de Gaulard y Gibbs. El transformador resultante ha sido considerado el primer transformador comercial práctico del mundo (Halacsy y Von Fuchs, 1961, p. 121). Pero tal designación es equívoca debido a que el transformador era práctico para Hungría, no para el mundo. En los Estados Unidos, la Westinghouse Company también aprendió del transformador Gaulard-Gibbs, adquirió los derechos de las patentes, y lo adaptó a las condiciones norteamericanas. Westinghouse empleó a William Stanley, un inventor independiente, para desarrollar un sistema transformador de transmisión, sobre la base del dispositivo de Gaulard-Gibbs. Subsecuentemente, el equipo de ingenieros de la Westinghouse dio al sistema un estilo norteamericano previendo la existencia de un gran mercado

<sup>14</sup> Un número de *Technikgeschichte* (vol. 50, Nº 3, 1983) con artículos de Ulrich Troitzsch, Wolfhard Weber, Rainer Fremdling, Lars U. Scholl, Ulrich Wengenroth, Wolfgang Mock y Han-Joachim Braun, quien ha escrito a menudo sobre transferencia, aparece en *Technologietransfer im 19. Und 20. Jahrhundert*.

y adaptando el transformador y el proceso de fabricación para su producción en masa (Hughes, 1983, pp. 98-105).

El caso del transformador de Gaulard-Gibbs revela que la legislación y el mercado son factores críticos en la transferencia y la adaptación, pero hay otros factores críticos involucrados, incluyendo los geográficos y los sociales (Lindqvist, 1984, pp. 291-307). El caso de Gaulard y Gibbs involucra un objeto físico que está siendo transferido y adaptado: cuando un sistema tecnológico es transferido, también lo son los componentes organizacionales. Hay numerosos casos exitosos y fracasados de transferencia tanto de compañías como de productos, por lo que depende del componente que está siendo transferido y la fase de desarrollo del sistema tecnológico si el agente de la transferencia es un inventor, un ingeniero, un gerente, u otro profesional.

#### ESTILO TECNOLÓGICO

La exploración del tema de la transferencia de tecnología conduce rápidamente a la cuestión del estilo, dado que la adaptación es una respuesta a diferentes entornos, y la adaptación al entorno culminan en estilo. Los historiadores del arte y la arquitectura han utilizado por mucho tiempo el concepto de estilo. Cuando Heinrich Wölfflin escribió en 1915 acerca del problema del desarrollo del estilo en arte, no dudó en atribuir el estilo en el arte y la arquitectura al carácter de los individuos y las naciones. El concepto de estilo puede ser desarrollado, por otra parte, sin referencias al carácter nacional o racial, o al *Zeitgeist*. Historiadores del arte y la arquitectura ahora usan el concepto de estilo con cuidado, debido a que "el estilo es como un arcoiris... Podemos verlo brevemente, mientras nos detenemos entre el sol y la lluvia, y se desvanece cuando vamos al lugar donde pensamos que lo vimos" (Kubler, 1962, p. 129).

Los historiadores y los sociólogos de la tecnología pueden, sin embargo, utilizar la noción de estilo ventajosamente dado que, a diferencia de los historiadores del arte, no están sometidos a concep-

tos rígidos y largamente establecidos tales como Alto Renacimiento y Barroco, que pueden oscurecer la diferenciación perceptiva. Los historiadores y sociólogos pueden usar el estilo para sugerir que los constructores de sistemas, como los artistas y los arquitectos, poseen una latitud creativa. Aún más, el concepto de estilo se adecua al de construcción social de la tecnología. No existe el mejor modo de pintar a la Virgen; tampoco hay el mejor modo de construir una dinamo. Los ingenieros inexpertos y los legos se equivocan al asumir que hay una dinamo ideal hacia el cual se orienta la comunidad de diseñadores. La tecnología debería ser apropiada en función del tiempo y el espacio; pero esto no significa necesariamente que sea pequeña y hermosa.<sup>15</sup>

Los factores que conforman el estilo son numerosos y diversos. Luego de la traumática Revolución bolchevique de 1917, y durante los convulsivos inicios del nuevo Estado, los soviéticos necesitaban las tecnologías más grandes y rápidas, no por razones económicas, sino para ganar prestigio para el régimen (Bailes, 1976). Después de comparar el compás giroscópico que él inventó, con los alemanes, Elmer Sperry decidió que el suyo era más práctico debido a que los alemanes no buscaban requerimientos funcionales sino estándares abstractos de rendimiento. Su observación fue un comentario sobre estilo. Charles Merz, el ingeniero británico consultor que diseñó los sistemas de energía regionales a lo largo del mundo, dijo en 1909 que "el problema del suministro de electricidad en cualquier distrito está [...] completamente gobernado por condiciones locales" (Merz, 1908, p. 4).

El concepto de estilo aplicado a la tecnología se opone a la falsa noción de que la tecnología es simplemente ciencia aplicada y economía, una doctrina pensada algún tiempo atrás, en las escuelas de ingeniería. Las leyes de Ohm y de Joule, y los consumos por factores y costos por unidad no son suficiente explicación para dar cuenta de la forma que adquiere la tecnología. Los conceptos de conformación

<sup>15</sup> Compárese con el concepto de marco tecnológico ofrecido por Bijker en este volumen)

social de la tecnología y de estilo tecnológico ayudan al historiador y al sociólogo, y tal vez al propio practicante, para evitar análisis reduccionistas de la tecnología.

El concepto de estilo también facilita la escritura de una historia comparativa. El historiador puede buscar una explicación para las diferentes características de una tecnología particular, tal como la energía eléctrica, en distintas regiones. El problema deviene especialmente interesante en este siglo, cuando el *stock* internacional de conocimiento tecnológico está disponible para los diseñadores regionales de tecnología debido a la circulación internacional de patentes y de literatura científica y técnica, al comercio internacional de bienes técnicos y servicios, a la migración de expertos, los acuerdos de transferencia de tecnología, y a otros modos de intercambio de conocimiento y artefactos. Habiendo notado la existencia de un *stock* internacional de conocimiento tecnológico, y habiendo reconocido que la ciencia propia de los ingenieros permite que se establezcan leyes y ecuaciones que describen un sistema eléctrico ideal, o altamente abstracto, hecho de fuerzas electromotoras, resistencias, capacitores, e inductancias, que son internacionalmente válidas y atemporales, llegamos a un problema fascinante: ¿por qué los sistemas eléctricos difieren en características de época en época, de región en región e incluso de nación en nación?

Hay numerosos ejemplos en este siglo de variaciones en el estilo tecnológico. Un mapa del suministro eléctrico en 1920 en Londres, París, Berlín y Chicago, revela variaciones notables de ciudad en ciudad respecto del tamaño, número y localización de las plantas de energía eléctrica (Hughes, 1983, p. 16). Las variaciones no remiten a la cantidad de electricidad generada (el resultado planteado en términos cuantitativos), sino al modo en el que es generada, transmitida y distribuida (a menudo el historiador económico omite las variaciones en el estilo al focalizarse en lo cuantitativo). Berlín poseía cerca de media docena de grandes plantas de energía eléctrica, mientras que Londres tenía más de cincuenta pequeñas. El estilo de Londres, con sus numerosas y pequeñas plantas, y el estilo de Berlín, con sus instalaciones

grandes, persistieron por décadas. Londres, debe enfatizarse, no estaba retrasada técnicamente. La principal explicación para los estilos contrastantes descansa en las regulaciones legales de Londres y Berlín, que expresaban valores políticos fundamentales. Los londinenses estaban protegiendo el poder tradicional de los gobiernos locales dando a los distritos municipales autoridad para regular la energía eléctrica, mientras que los berlineses estaban acentuando la autoridad centralizada delegando el poder regulador a la ciudad de Berlín (Hughes, 1983, pp. 175-200, 227-261).

Otro factor, la geografía natural, también forma el estilo tecnológico. Dado que las regiones, tal como son definidas tradicionalmente, son esencialmente geográficas, y debido a que la geografía influye tan profundamente en la tecnología, el concepto de estilo regional de tecnología puede ser más fácilmente identificado que el de estilo nacional. Sin embargo, cuando las regulaciones legales se aplican a un nivel nacional, los estilos regionales tienden a mezclarse en estilos nacionales. Por ejemplo, antes de 1926 y de la Red Nacional, en Gran Bretaña había estilos regionales distintivos de sistemas eléctricos —con Londres contrastando con la costa noreste. La red condujo a un estilo más nacional en la medida que la legislación prevaleció sobre otros factores.

Las experiencias históricas regionales y nacionales también forman el estilo tecnológico. Durante la Primera Guerra Mundial, el déficit de cobre en Alemania llevó a que los diseñadores de plantas eléctricas instalaran generadores más grandes y menos numerosos. Esta experiencia de aprendizaje, o este estilo de diseño adquirido, persistió después de la guerra, aún cuando había pasado la escasez crítica de ese material. Después de la guerra, el Tratado de Versalles privó a Alemania de áreas de producción de carbón duro y también demandó su exportación bajo la forma de reparaciones, de modo tal que los constructores del sistema de plantas eléctricas se volcaron crecientemente al carbón blando, una característica que persistió después de que la técnica fuera aprendida. Solo la historia puede explicar satisfactoriamente los estilos regionales de las plantas de energía eléctrica del Ruhr y de Colonia,

con su dependencia respecto al lignito y a grandes unidades generadoras, características del periodo de la primera posguerra.

El concepto "estilo tecnológico" es aplicable a otras tecnologías, además de los sistemas de energía eléctrica, y es útil para otros profesionales, además de los historiadores. Louis Hunter señaló contrastes fascinantes entre los buques de vapor del río Hudson y del río Mississippi (Hunter, 1949). Eda Kranakis ha escrito sobre el "estilo académico" francés en ingeniería (Kranakis, 1982, pp. 8-9), y Edwin Layton ha contrastado las aproximaciones norteamericanas y francesas al diseño de turbinas de agua en el siglo XIX (Layton, 1978). En la década de 1950, el público norteamericano se familiarizó con los estilos contrastantes de automóviles de los Estados Unidos y Europa e incluso con los diseños contrastantes de vehículos espaciales soviéticos y norteamericanos.<sup>16</sup> Recientemente, Mary Kaldor identificó un estilo barroco de tecnología militar en el siglo XX (Kaldor, 1981). Consciente de la riqueza y la complejidad del concepto de estilo y de la posibilidad de usarlo para contrarrestar las aproximaciones reduccionistas al diseño de la ingeniería, Hans Dieter Hellige ha urgido para que se introduzca el concepto de estilo en la educación de los ingenieros (Hellige, 1984, pp. 281-283).

#### CRECIMIENTO, COMPETENCIA Y CONSOLIDACIÓN

Los historiadores de la tecnología describen el crecimiento de los grandes sistemas pero raramente exploran con profundidad las causas de ese crecimiento. Las explicaciones, que usan conceptos tales como el de *economía de escala* y motivaciones tales como el aliciente de la búsqueda de poder personal y el engrandecimiento organizacional, pueden ocultar contradicciones. Si por economía de escala se refiere al

<sup>16</sup> Estoy en deuda con Edward Constant por la información acerca del estilo en los automóviles y con Alex Roland por la información concerniente a los estilos contrastantes de tecnología espacial de la Unión Soviética y los Estados Unidos.

ahorro de material y energía que proviene del uso de recipientes más grandes –como tanques, calderas y hornos– entonces el ahorro se puede perder si los recipientes más grandes no son utilizados en toda su capacidad. Si por economía de escala simplemente se alude al número de unidades producidas o servidas, entonces la capacidad de la planta o la organización y la distribución del resultado a lo largo del tiempo no están tomadas en cuenta y el ahorro no es adecuadamente medido. Por ejemplo, una central de energía ampliada (en proporción) para generar dos veces la cantidad de kilovatios-horas por mes incrementaría sus costos por unidad si la carga aumentada fuese concentrada en las horas pico. Si se asume que una organización mayor conlleva mayor influencia y control para los gerentes, entonces se ignoraría la posibilidad de que la iniciativa individual se pierda en la rutina burocrática. Hace tiempo, León Tolstoi argumentó en *Guerra y paz* que el ímpetu abrumador del enorme ejército francés y la imagen del todopoderoso y victorioso Emperador le dio a Napoleón, durante la invasión a Rusia, menos libertad de acción que la del soldado de infantería común. Las pequeñas firmas y los pequeños ejércitos no son tan propensos a sofocar la iniciativa.

Algunos diseñadores de los sistemas tecnológicos han tomado en cuenta estas contradicciones. Los diseñadores de las plantas de energía eléctrica deciden si construir una gran planta o un número de plantas pequeñas en un período extendido de tiempo. La última elección a menudo equipara la capacidad incrementada con la carga incrementada. Los gerentes de las empresas de energía eléctrica y los operadores también administran la carga para evitar picos extremos y caídas en el suministro eléctrico que impliquen la generación de capacidad ociosa. En el pasado, los gerentes de pequeñas empresas de energía eléctrica luchaban a menudo contra la posibilidad de ser absorbidos por las empresas grandes debido a que anticipaban que en las grandes organizaciones la burocracia habría de reducir su ejercicio de autoridad. Las plantas de energía pequeñas y técnicamente avanzadas, que florecieron en Londres cerca de 1900 hasta la implementación de la Red Nacional después de 1926, pusieron en evidencia que

una producción y una organización en gran escala no eran necesarias para la obtención de beneficios y de poder personal (Hughes, 1983, pp. 259-360). La mayor parte de los gerentes más encumbrados de las pequeñas empresas de energía eléctrica que fueron absorbidas en las grandes, fueron destinados a jugar papeles subordinados en el plano de la administración intermedia.

Los sistemas tecnológicos de las naciones industriales modernas tienden todavía a expandirse, tal como lo muestra la producción de electricidad, de teléfonos, de radios, de armas, de automóviles y de otros sistemas. Una explicación importante para este crecimiento –raramente enfatizada por los historiadores de la tecnología, la economía o los negocios– es el aliciente de una alta diversidad y los factores de carga, y una buena combinación de factores económicos. Esto es particularmente cierto en los sistemas del siglo XX, en los que contadores y gerentes prestan mucha atención a los intereses producidos por las inversiones de capital. El factor de carga –un concepto actualmente aplicado a muchos sistemas– se originó en la industria eléctrica a finales del siglo XIX. Consiste en la razón entre el promedio de la producción real de energía eléctrica y el máximo de producción teórica de un sistema a lo largo de un período especificado. Mejor definido por un gráfico, o una curva, el factor de carga traza la producción de un generador, una planta de energía o un sistema eléctrico por un período de 24 horas. La curva usualmente despliega un valle en la mañana temprano, antes de la hora de despertarse, y un pico temprano por la tarde, cuando los negocios y la industria usan la electricidad, los dueños de casa prenden la luz, y los pasajeros utilizan los medios de transporte. Mostrando gráficamente la capacidad máxima del generador, la planta, o una empresa de energía eléctrica (que debe ser mayor al pico más alto) y trazando la curva de carga con sus picos y valles, se revela de manera rigurosa el uso de la capacidad. Debido a que muchos sistemas tecnológicos que utilizan actualmente el concepto son capital intensivos, la curva de carga (que indica el factor de carga, o el uso de las inversiones y el costo por unidad relacionado) constituye un indicador muy confiable del retorno de las inversiones.

El factor de carga no necesariamente guía el crecimiento. Un pequeño sistema tecnológico puede tener un alto factor de carga, por ejemplo, si la carga producida o el mercado son variables. La carga de un sistema de energía eléctrica deviene convenientemente variada si los consumidores individuales realizan sus demandas máximas en distintos momentos, algunos en la tarde, otros por la mañana temprano, etc. Cuando no es el caso, los gerentes de un sistema tecnológico tratan de expandir el sistema con el fin de adquirir una carga o una variedad más deseable. La carga puede también administrarse por medio de precios diferenciales, elevando los valles y reduciendo los picos. En general, una gran extensión en torno a una gran área geográfica con diferentes cargas industriales, residenciales y de transporte, proveen una variabilidad incrementada y una oportunidad para administrar la carga, con el fin de mejorar el factor de carga. Durante el siglo XX la expansión en búsqueda de variabilidad y la administración por un alto factor de carga han sido causas principales del crecimiento del sistema de empresas eléctricas. El factor de carga es, probablemente, la mayor explicación que existe para dar cuenta del crecimiento de los sistemas tecnológicos capital-intensivos en las sociedades capitalistas, calculadores de interés.<sup>17</sup>

Los administradores de los sistemas eléctricos también buscan una combinación económica mejorada. Esto resulta, por ejemplo, de la interconexión de una planta de energía eléctrica situada en la llanura cerca de una mina de carbón y otra en las distantes y altas montañas. La Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk, una empresa de energía eléctrica situada en el valle del Ruhr en Alemania, se expandió cientos de millas en la década de 1920, hasta que el sistema alcanzó los Alpes en el sur. Más tarde, a partir del aprovechamiento de los deshielos de primavera, se dispuso de energía hidroeléctrica a bajo costo desde los Alpes, y en diferentes momentos respecto de las plantas menos económicas, alimentadas con carbón. La producción de las plantas regiona-

<sup>17</sup> Para una discusión más extensa sobre los factores de carga –y de variabilidad– véase Hughes (1983, pp. 216-222). Alfred Chandler elabora un concepto similar pero menos gráfico, “rendimiento”, aplicado en las industrias química y manufacturera.

les pudo también ser combinada, de modo tal que las menos eficientes podían contribuir en los momentos de mayor consumo y las más económicas sostener una carga de base constante. La atracción intelectual que poseía el factor de carga para los ingenieros-administradores de los sistemas de energía eléctrica en rápida expansión, el elegante aspecto vinculado a la resolución del rompecabezas, la combinación económica y la administración de la carga, deviene comprensible. Para aquellos más implicados en los acicates más tradicionales del poder y la ganancia, la elegante resolución de problemas fue complementada con mayores beneficios, dominio de mercado y aumento del tamaño de la organización.

En la medida en que crecieron los sistemas, desarrollaron otro tipo de problemas, algunos de los cuales pueden caracterizarse como "salientes reversas". Las invenciones conservadoras resolvieron estos problemas, en tanto que las radicales implicaron el nacimiento de sistemas. Una saliente es una protuberancia en una figura geométrica, una línea de batalla o un frente de tormenta en expansión. En la medida que los sistemas tecnológicos se expanden, desarrollan salientes reversas. Las salientes reversas son componentes del sistema comparativamente retrasados, es decir, que no coevolucionaron con los otros. Debido a que sugieren cambios desiguales y complejos, esta metáfora es más apropiada para sistemas que el rígido concepto visual de cuello de botella. Las salientes reversas son comparables a otros conceptos usados para describir aquellos componentes que se encuentran en un sistema en expansión y que necesitan atención, tales como resistencias, limitaciones al potencial, fricciones emergentes, y eficiencia sistémica. En un sistema eléctrico los ingenieros pueden cambiar las características de un generador para mejorar su eficiencia. Entonces otro componente del sistema, tal como un motor, puede necesitar alterar sus características -tales como la resistencia, el voltaje o el amperaje- de modo tal que funcione de manera óptima con el generador. Hasta que se produce este cambio, el motor sigue siendo una saliente reversa. En un sistema de producción, una unidad puede incrementar su productividad de modo que los demás componentes deban modificarse para

contribuir eficientemente a la producción del sistema en su conjunto. Hasta que los componentes rezagados puedan ser modificados, a menudo por medio de la invención, son salientes reversas. Durante la Revolución Industrial británica, hubo quienes notaron desequilibrios de este tipo entre la tejeduría y el hilado, y los inventores respondieron a las salientes reversas por medio de invenciones que incrementaron la producción de los componentes retrasados y la del sistema en su conjunto. En un sistema tecnológico maduro, complejo, en muchas ocasiones la necesidad de organización puede ser una saliente reversa. En la década de 1920, los gerentes-empresarios vieron la necesidad de una forma organizacional que pudiera presidir la construcción, la administración y el financiamiento de empresas de energía eléctrica horizontal y verticalmente integradas. La invención de conglomerados de empresas apropiados corrigió la saliente reversa.

Los empresarios y las organizaciones que gobiernan los sistemas en expansión monitorean la aparición de salientes reversas, a veces identificándolas por medio de técnicas de cálculo de costos. Habiéndolas identificado, la organización asigna a su cuerpo de ingenieros o a los laboratorios de investigación la tarea de atender la situación, si es esencialmente un problema que involucra máquinas, dispositivos, procesos, y la teoría y el conocimiento organizado que los describe y explica. El equipo de ingenieros o el laboratorio contiene a la comunidad de practicantes que poseen las tradiciones de prácticas relevantes (Constant, 1987). Las comunidades de inventores se concentran en las salientes reversas debido a que un conjunto de compañías en una industria pueden encontrarse frente a las salientes reversas casi simultáneamente. Los inventores, sean ingenieros o científicos industriales, definen a la saliente reversa como un conjunto de problemas críticos que, cuando son resueltos, la eliminan. A menudo las salientes reversas emergen de manera inesperada, espontánea. Sin embargo, la definición y resolución de problemas críticos es una acción voluntaria. Si la saliente reversa es de naturaleza organizacional o financiera, entonces los individuos o comunidades de practicantes que atacan el problema pueden ser gerentes profesionales o financistas que las superan con soluciones

originales. En cada etapa de crecimiento del sistema, la saliente reversa provoca la emergencia de una secuencia de tipos apropiados de inventores capaces de resolver los problemas (sean ingenieros, gerentes, financistas o personas con experiencia en materias legislativas y legales) (Hughes, 1983, pp. 14-17).

Los laboratorios de investigación, que proliferaron en el primer cuarto de siglo, probaron ser especialmente efectivos en invenciones conservadoras. Los laboratorios rutinizaron la invención. Un director de Bayer antes de la Primera Guerra Mundial, el químico Carl Duisberg, con conocimiento de causa caracterizó a las invenciones de los laboratorios industriales de investigación (*Etablisementserfindungen*) como soluciones "*Von Gedankenblitz keine Spur*" (ni la menor traza de un destello genial) (Van den Belt y Rip, 1987). Desafortunadamente para la comprensión del cambio tecnológico, los departamentos de relaciones públicas y los científicos industriales autopromocionados persuadieron al público, a los gerentes y a los propietarios de que los laboratorios industriales habían sustituido a los inventores independientes debido a que estos eran menos efectivos. Por el contrario, hay evidencia considerable que demuestra que un número desproporcionado de las invenciones radicales proviene aún de los independientes.<sup>18</sup> Un laboratorio orientado por objetivos atado a una corporación industrial o a una agencia gubernamental con intereses personales en un sistema en crecimiento, lo nutre con mejoras conservadoras o con invenciones que son respuestas a salientes reversas.

Las tempranas elecciones de problemas de los laboratorios industriales pioneros sugieren un compromiso rígido con las invenciones conservadoras y un relativo desinterés hacia las radicales. Después de que la Bell Telephone System consolidó, en 1907, sus actividades de investigación en la Western Electric Company y en la American Telephone & Telegraph, su equipo de científicos e ingenieros se concentró en las salientes reversas que surgieron de la decisión de construir una

<sup>18</sup> Jewkes *et al.* (1969) ofrecen argumentos convincentes para el caso de los independientes en el pasado y en el presente.

línea de teléfono transcontinental. La caída de tensión, o la pérdida de energía, probó ser la mayor saliente reversa. La invención de la bobina de carga redujo esta caída de tensión. Hacia 1911, la introducción de repetidoras mejoradas para las líneas de transmisión devino un problema mayor para el equipo de investigación y desarrollo.<sup>19</sup> Las salientes reversas en los sistemas de electricidad atacados por los ingenieros y los científicos en el General Electric Research Laboratory, aproximadamente para la época de su fundación en 1900, incluyeron filamentos y vacíos mejorados para las lámparas incandescentes y mejoras en las lámparas de vapor de mercurio. Incluso Irving Langmuir, un distinguido científico de la GE a quien le fue dada una libertad excepcional en su elección de problemas de investigación, no rechazó problemas altamente prácticos encontrados por la General Electric Company en la medida que esta expandía sus líneas de productos. Willis R. Whitney, director del laboratorio, prosiguió la política de ser "sensible a las necesidades de los negocios" (Wise, 1980, p. 429).

Cuando una saliente reversa no puede corregirse dentro del contexto de un sistema existente, el problema deviene en un problema radical, cuya solución puede traer un sistema nuevo y competidor. Edward Constant ha provisto un ejemplo de la emergencia de un nuevo sistema a partir de uno ya establecido, en el cual se ha identificado una "anomalía presunta". Constant señala que las anomalías presuntas ocurren cuando las asunciones derivadas de la ciencia indican que "bajo algunas condiciones futuras el sistema convencional va a fallar (o funcionar mal) o que un sistema radicalmente diferente realizará un trabajo mucho mejor" (Constant, 1980, p. 15). Una anomalía presunta se asemeja a la presunción de una saliente reversa, pero Constant enfatiza correctamente el papel del científico en su identificación. Una notable anomalía presunta emergió hacia finales de 1920, cuando a partir de los conceptos provenientes de la aerodinámica se concluyó que el sistema convencional de propulsión por motor de pistón y hélice no

<sup>19</sup> Para más datos sobre la invención (conservadora) y la expansión del sistema telefónico, véase Hoddeson (1981).

funcionaría a las velocidades cercanas a las del sonido previstas para los aeroplanos. Los inventores Frank Whittle, Hans von Ohain, Herbert Wagner y Helmut Schelp respondieron con el motor a reacción. Los tres primeros trabajaron como independientes cuando concibieron el nuevo motor (Constant, 1980, pp. 194-207, 242).

Edison y otras personas que gobernaban el crecimiento del sistema de iluminación eléctrica en los tempranos años 1880 fracasaron en el intento por resolver una saliente reversa, y vieron cómo otros inventores e ingenieros respondían a la misma con una invención radical que inauguró el sistema de corriente alterna. Se produjo después una "batalla de sistemas", que culminó en los años 1890, no con la victoria y la conquista de uno sobre el otro, sino con la invención de dispositivos que hacían posible la interconexión de los dos sistemas. Esta serie de motores, generadores, transformadores y convertidores rotativos interconectaban cargas heterogéneas<sup>20</sup> (tales como lámparas incandescentes, lámparas de arco voltaico, motores de inducción para la industria, motores de corriente continua para tranvías o vagones) en un sistema universal<sup>21</sup> suministrado por unos pocos generadores multifásicos estandarizados y vinculados por líneas de transmisión de alto voltaje y líneas de distribución de bajo voltaje.

El diseño y la instalación de sistemas de energía eléctrica universales, en la década 1890, es comparable a la introducción de una red universal de teléfonos por parte de la AT&T alrededor de una década después. Y es similar al reciente diseño de grandes interconexiones para diversos sistemas por parte de los fabricantes de computadoras. Estas conexiones físicas estaban acompañadas por las conexiones organizacionales de las empresas de energía eléctrica y las fábricas que habían nutrido los sistemas competidores. La Thomson-Houston Company, con su sistema de corriente alterna, se fusionó en 1893 con la Edison General Electric Company, con su sistema de corriente conti-

nua.<sup>22</sup> La consolidación de los sistemas de electricidad y de iluminación eléctrica se produjo en todo el mundo industrial hasta el período de entreguerras, cuando dos grandes fabricantes en los Estados Unidos (General Electric y Westinghouse) y dos en Alemania (Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft y Siemens) dominaron la producción de electricidad. De manera similar, grandes empresas regionales productoras de electricidad regionales prevalecieron en el suministro de electricidad. Aproximadamente al mismo tiempo, la amplia estandarización industrial de equipamiento técnico creó, por ejemplo, voltajes estandarizados, frecuencias, y rasgos tipificados por los artefactos. Fusiones y estandarizaciones similares tuvieron lugar en los sistemas telefónicos y en la producción de automóviles a comienzos del siglo XX.

#### MOMENTUM

Los sistemas tecnológicos, incluso después de un crecimiento y una consolidación prolongada, no devienen autónomos, adquieren *momentum*. Poseen una masa de componentes técnicos y organizacionales, poseen dirección o metas, y expresan una tasa de crecimiento que sugiere una velocidad. Un alto nivel de *momentum* a menudo produce que quienes lo observan asuman que un sistema tecnológico ha devenido autónomo.<sup>23</sup> Los sistemas maduros poseen una cualidad que es análoga, por consiguiente, al movimiento inercial.

La mayor parte de un sistema tecnológico surge especialmente de las organizaciones y las personas comprometidas con el sistema por varios intereses. Corporaciones de fabricantes, empresas de energía eléctrica públicas y privadas, laboratorios de investigación industrial y gubernamental, bancos y empresas financieras, secciones de socieda-

<sup>22</sup> Sobre la "batalla de los sistemas" véase Hughes (1983, pp. 106-135). Véase también Bijker en este volumen.

<sup>23</sup> Langdon Winner (1977) ha analizado la cuestión de si la tecnología es autónoma o no. Para una discusión de la autonomía y del determinismo tecnológico, véase la introducción a MacKenzie y Wajcman (1985, pp. 4-15).

<sup>20</sup> Véase Law (1987), sobre entidades e ingenieros heterogéneos.

<sup>21</sup> Estoy en deuda con Robert Belfield por el concepto de "sistema universal", que él encontró entre los papeles de Charles F. Scott en la Universidad de Siracusa.

des técnicas y científicas, departamentos en instituciones educativas, y cuerpos regulativos añaden mucho al *momentum* de los sistemas de iluminación y de energía eléctrica. Inventores, ingenieros, científicos, gerentes, propietarios, inversores, financistas, empleados públicos, y políticos, a menudo tienen intereses en el crecimiento y la continuidad del sistema. Las comunidades de practicantes, especialmente los ingenieros que mantienen tradiciones de práctica tecnológica, a veces evitan perder habilidades promoviendo un sistema en el cual poseen una posición (Constant, 1987). Los actores-red, tal como han sido definidos por Michel Callon, añaden *momentum* al sistema (Callon, 1987). Intereses, activos fijos y costos invertidos son conceptos relacionados al *momentum*.

La durabilidad de los artefactos y del conocimiento en un sistema sugiere la noción de trayectoria,<sup>24</sup> una metáfora similar a la de *momentum*. Los sistemas capital-intensivos modernos poseen una multitud de artefactos físicos durables. El despido de trabajadores en los sistemas de trabajo intensivos reducen el *momentum*, pero los sistemas capital-intensivos no pueden despedir capitales y evitar pagos de interés sobre las máquinas y los procesos. Los artefactos físicos durables proyectan en el futuro las características socialmente construidas adquiridas en el pasado, cuando fueron diseñadas. Esto es análogo a la persistencia de características adquiridas en entornos cambiantes.<sup>25</sup>

El *momentum* de artefactos capital-intensivos, no amortizados, explica parcialmente la supervivencia de la corriente continua después de la "batalla de los sistemas", a pesar de la victoria de la corriente alterna. La supervivencia de artefactos que funcionaban con temperatura alta, presión alta y con hidrogenación catalítica en la firma química germana Badische Anilin und Soda-Fabrik (BASF), entre 1910 y 1940, ofrece otro ejemplo del *momentum* y la trayectoria (Hughes, 1969). En

<sup>24</sup> Para una discusión del concepto de trayectoria, véase Van den Belt y Rip (1987).

<sup>25</sup> Edward Constant ha explorado y explicado las comunidades de practicantes. Véase por ejemplo Constant (1987).

el caso de BASF, un grupo central de ingenieros y científicos generaron conocimiento acerca del proceso de hidrogenación a través del diseño de equipamiento para la fijación de nitrógeno durante la Primera Guerra Mundial emplearon su conocimiento y equipos en la producción de metanol durante el período de Weimar, y de gasolina sintética durante la década nacional-socialista.

Entre 1910 y 1930, los constructores de sistemas contribuyeron de manera significativa al *momentum* de los sistemas de iluminación y de energía eléctrica en el occidente industrializado. Combinando experiencias y competencias complejas, especialmente en ingeniería, finanzas, gerencia y política, Hugo Stinnes, el magnate del Rhur, Emil y Walther Rathenau, las cabezas sucesivas de la Germany General Electric (AEG), y Oskar von Miller, que ayudó a crear la Bayernwerk (la empresa de electricidad regional de Bavaria), construyeron los grandes sistemas germanos. Walter von Rathenau, quien estaba especialmente fascinado por la estética de la construcción de sistemas, dijo de manera aprobadora en 1909 que "trescientos hombres, que se conocen entre sí (de los que él era uno) controlan el destino económico del Continente" (Kessler, 1969, p. 121). En 1907, su sistema AEG era "sin ninguna duda la combinación de unidades industriales más grande de Europa bajo un control centralizado y con una organización centralizada". En Gran Bretaña, el ingeniero consultor Charles Merz presidió el crecimiento de la red de empresas de energía eléctrica más grande del país, la Northeastern Electric Supply Company. En los Estados Unidos, Samuel Insull, de la Middle West Utilities Company, S. Z. Mitchell de la Electric Bond and Share, un conglomerado de empresas productoras de energía eléctrica asociada a la General Electric, y Charles Stone y Edwin Webster de la Stone & Webster se encontraban entre los diseñadores de sistemas líderes.

Stone y Webster devinieron en un sistema ejemplar. Se graduaron de manera simultánea en el Massachusetts Institute of Technology en 1880, y fundaron una compañía consultora de ingeniería para asesorar a compradores de generadores eléctricos, motores y otros equipamientos. Sabiendo que los dos jóvenes eran expertos en diseños de

plantas de energía y en la operación de empresas de energía eléctrica, J. P. Morgan, el inversor, les pidió que lo asesoraran acerca de la disposición de un conjunto de empresas de energía eléctrica prácticamente difuntas en las que tenía intereses financieros. A partir del estudio de las mismas, Stone y Webster identificaron salientes reversas significativas y generalizadas en la industria de energía eléctrica y devinieron expertos en corregirlas. Dándose cuenta de que el gasto prudente de dinero en las empresas de energía eléctrica cuyas deficiencias habían sido correctamente diagnosticadas generaba dramáticas mejoras y beneficios, Stone y Webster estaban ofreciendo de manera holística financiar, construir y administrar estas empresas. Como resultado, operó en varias partes de los Estados Unidos un sistema de empresas de electricidad interrelacionado de manera financiera, técnica y gerencial, algunas de ellas conectadas por líneas físicas de transmisión. En la década de 1920, Stone y Webster formaron un conglomerado de empresas para establecer estrechos lazos financieros y gerenciales dentro del sistema (Hughes, 1983, pp. 386-391). Conglomerados semejantes se extendieron a lo largo del mundo occidental. Algunos involucraron compañías de carbón que suministraban el combustible para las plantas eléctricas del sistema, otros incluían la fabricación de aparatos eléctricos para equiparlas. En algunos casos se establecían vínculos a través de relaciones contractuales de largo plazo, entrelazando consejos de dirección, compras de acciones compartidas con firmas de fabricantes, y compañías de transporte que eran fuertes consumidoras de electricidad. En Alemania, el gobierno local a veces compartía la propiedad de la empresa de energía eléctrica. Involucrados en el sistema, los gobiernos locales devinieron tanto reguladores como propietarios.

Sistemas enormes de ese tipo, con un gran *momentum*, no estaban limitados al campo de la energía eléctrica. El sistema de producción de automóviles creado por Henry Ford y sus asociados proveyó un ejemplo clásico de un sistema con un gran *momentum*. Coordinado como para asegurar un suave flujo desde la materia prima hasta el automóvil terminado, listo para ser vendido, el sistema de Ford se erigió con líneas de producción interconectadas, plantas procesado-

ras, productores de materia prima, redes de manejo de materiales y de transporte, laboratorios de investigación y desarrollo, y vendedores. La interconexión de la producción y la distribución en sistemas con un alto flujo o con una producción continua ocurrió también en la industria química a principios del siglo XX.<sup>26</sup>

Los sistemas con un gran *momentum* en los años de entreguerras dieron la apariencia de que la tecnología era autónoma. Debido a que la dinámica interna parecía conducir su desarrollo resultó del agrado de los gerentes que querían reducir la incertidumbre, y de los ingenieros que necesitaban planear y diseñar una capacidad incrementada en los sistemas. Después de 1900, por ejemplo, el consumo creciente de electricidad pudo ser predicho con confiabilidad en el 6% anual. Tales sistemas parecían ser sistemas cerrados, no sometidos a la influencia de factores externos o del ambiente. Estos sistemas redujeron las fuerzas del entorno aún no absorbidas por ellos. Sometidos a los juegos de poder, la propaganda, y la influencia del dinero en el sistema, aquellos que controlaban las fuerzas del ambiente asumieron los valores y los objetivos del sistema.

La existencia de una aparente autonomía ha probado ser decepcionante. A lo largo de la Primera Guerra Mundial e inmediatamente después, por ejemplo, la línea de desarrollo y las características de los sistemas eléctricos en Inglaterra cambiaron apreciablemente. Antes de la guerra, los sistemas británicos eran anormalmente pequeños comparados con los de los Estados Unidos y la Alemania industrializada. En general los operadores de las empresas eléctricas consideraban que el sistema británico estaba atrasado. De hecho, el estilo británico acordaba sutilmente con los valores políticos británicos y las regulaciones legales que expresaba.

Tradicionalmente, los británicos otorgaban un gran valor al poder de los gobiernos locales, especialmente en Londres, y las empre-

<sup>26</sup> Hounshell (1984) ofrece un estudio reciente de la Ford y otros sistemas de producción. Chandler (1977) analiza y describe la integración y distribución de las instalaciones en varias industrias, incluyendo la industria química.

sas de electricidad estaban limitadas por los confines de las pequeñas jurisdicciones políticas.<sup>27</sup> La Primera Guerra Mundial, en particular, y la aparente pérdida creciente de preeminencia industrial en general, pusieron en cuestión el problema de los valores políticos y económicos que habían prevalecido en Gran Bretaña. Durante la guerra, el Parlamento ignoró las sensibilidades de los gobiernos locales y forzó la interconexión de sistemas eléctricos pequeños para alcanzar un factor de carga más elevado y combinar recursos escasos. Con la victoria, las medidas de guerra pudieron abandonarse, pero las personas influyentes se preguntaron si la eficiencia alcanzada durante la guerra no era un requisito previo para la recuperación industrial en el período de paz. Como resultado, en 1926 se dio mayor prioridad al cambio tecnológico en el sistema eléctrico que a la tradición de gobiernos locales. El Parlamento promulgó legislación que creaba la primera interconexión nacional, o red. Las fuerzas políticas que fueron ejercidas resultaron adecuadas para la dinámica interna del sistema.

Después de la Segunda Guerra Mundial, los gerentes de las compañías eléctricas, especialmente en los Estados Unidos, asumieron erróneamente que los reactores nucleares podían ser incorporados fácilmente en los patrones de desarrollo del sistema. En cambio la energía nucleoelectrica conllevó salientes reversas difícilmente corregibles. Desde la Segunda Guerra Mundial, cambios tales como el suministro del petróleo, el incremento de los grupos ambientalistas, y la menguante efectividad de los artefactos técnicos para aumentar la eficiencia de los grupos generadores, desafiaron en conjunto los supuestos de *momentum* y trayectoria por parte de los gerentes de compañías eléctricas.

Estas instancias, en las cuales se rompe el *momentum* de los sistemas, recuerdan a los historiadores y sociólogos que usen tales conceptos y patrones de los sistemas evolutivos como ayudas heuris-

<sup>27</sup> Para un extenso desarrollo de la situación de las empresas públicas de electricidad en Gran Bretaña antes y después de la Primera Guerra Mundial, véase Hughes (1983, pp. 227-261, 319-323, 350-362).

ticas, y a los administradores de sistemas, a emplearlos cautamente como modelos predictivos. El *momentum*, sin embargo, sigue siendo un concepto más útil que el de autonomía: no contradice la doctrina de la construcción social de la tecnología, y no apoya la creencia errónea en el determinismo tecnológico. La metáfora comprende tanto factores estructurales como eventos contingentes.

#### CONCLUSIONES

Este artículo se ha ocupado de patrones de crecimiento y sistemas en evolución. Innumerables sistemas tecnológicos han llegado a una etapa de estabilización y entraron luego en un período de declinación.<sup>28</sup> En el siglo XIX, por ejemplo, los sistemas de canalización y de iluminación a gas se estabilizaron y luego declinaron. Los historiadores y sociólogos de la tecnología deberían buscar también patrones y conceptos aplicables a estos aspectos de la historia de los sistemas tecnológicos.

<sup>28</sup> Estoy en deuda con Richard Hirsh, del Instituto Politécnico de Virginia y de la Virginia State University, por llamarme la atención acerca de la *stasis* de las empresas de energía eléctrica pública en la segunda posguerra. Hirsh explora el concepto en su manuscrito no publicado "Myths, Managers, and Megawatts: Technological Stasis and Transformation in the Electric Power Industry".

# La dinámica de las redes tecno-económicas\*

Michel Callon

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de los últimos diez años, los sociólogos y los economistas han llegado a una conclusión similar por diferentes caminos: la creación científica y técnica, así como la difusión y la consolidación de sus resultados, surge de numerosas interacciones entre diversos actores (investigadores, tecnólogos, ingenieros, usuarios, industriales).<sup>1</sup> El problema surge cuando se trata de analizar estas interacciones y de dar cuenta de las elecciones realizadas. ¿Cómo podemos explicar el hecho de que en ciertos casos las trayectorias sean exitosas y se estabilicen, mientras que en otras aparezcan nuevas configuraciones? Todavía no hay respuesta satisfactoria a esta pregunta. Con el fin de desarrollar un análisis más profundo, proponemos usar el concepto de *red tecno-económica*, cuyo estudio arrojará nueva luz sobre la irreversibilidad y explicará el papel particular jugado por la tecnología.

El análisis de la ciencia y la tecnología se sitúa en el corazón del debate sobre la irreversibilidad, o tal vez lo que debería ser llamado el proceso de irreversibilización y de reversibilización. Por el otro lado, la tecnología constituye una de las principales fuentes de condicionamiento: crea sistemas (Gille, 1978; Hughes, 1983), produce

\* Publicado originalmente como "The Dynamics of Techno-economic Networks", en Coombs, R., P. Saviotti y V. Walsh (eds.) (1992), *Technological Change and Company Strategies*, Londres, Harcourt Brace Jovanovich Publishers.

<sup>1</sup> Véase, entre otros, Callon y Latour (1981), Callon (1989), Dosi (1984b), Freeman (1974), Gaffard (1989), Hughes (1983), Kline y Rosenberg (1986), Latour (1989), Von Hippel (1988).

externalidades de red (Katz y Shapiro, 1986) y, a través de sus efectos de localización, el cierre permanentemente de ciertas opciones (Arthur, 1989). Los estudios sobre la economía del cambio tecnológico han mostrado que un número de hipótesis del modelo estándar, incluyendo la reversibilidad, son incapaces de explicar los fenómenos observables (Foray, 1989). Pero la tecnología y la ciencia son también causantes de cambios radicales y de incertidumbre (Bijker *et al.*, 1987), generando irreversibilidades y constituyendo un poderoso instrumento para crear reversibilidad por medio de la producción de muchas nuevas opciones (MacKenzie y Wajcman, 1985). En este artículo quisiéramos mostrar que es posible medir ambos mecanismos, de irreversibilización y reversibilización, por los mismos medios. Adicionalmente, esta medición nos permitirá dar una nueva formulación del pasaje de la dimensión micro a la macro.

En esta introducción haremos una definición provisional: una red tecno-económica (RTE) es un conjunto coordinado de actores heterogéneos –por caso, laboratorios públicos, centros de investigación técnica, compañías, organizaciones financieras, usuarios y gobierno– quienes participan colectivamente en la concepción, desarrollo, producción y distribución o difusión de procedimientos para la producción de bienes y servicios, algunos de los cuales dan lugar a transacciones de mercado. En ciertos casos es posible anticipar la evolución de estas RTE –los actores se comportan de manera predecible, y la tecnología y sus productos evolucionan de acuerdo a líneas que son relativamente fáciles de caracterizar. En otros casos, sin embargo, los actores que componen las RTE poseen grados significativos de libertad. Desarrollan complicadas estrategias, puede haber un cierto número de innovaciones, y esto provoca reacomodamientos imprevistos. Se pueden separar en redes más pequeñas, o pueden juntarse con otras RTE para formar otras redes más o menos extensas. ¿Cómo podemos dar cuenta de la emergencia, el incremento, el cercamiento y el desmembramiento de las RTE?

Primero presentaremos las herramientas analíticas que nos permitirán comprender y describir los mecanismos por los cuales diversas actividades heterogéneas son vinculadas unas a otras. Introduciremos

los conceptos de intermediario, de actor y de traducción. Mostraremos entonces cómo se establecen y evolucionan las redes. Aquí los dos conceptos centrales serán: a) el de *convergencia*, que trata de la construcción de un espacio unificado de elementos que en principio son inconmensurables, y b) el de *irreversibilización*, que nos permite considerar la permanencia en el tiempo de estas conexiones y predeterminar su evolución. Por último observaremos la dinámica de las RTE. Analizaremos la diversidad de las trayectorias posibles, acentuando al mismo tiempo el hecho de que las definiciones de los actores mismos (su identidad, sus habilidades) están estrechamente vinculadas al estado de la red, y que lo mismo es válido para las herramientas (cualitativas o cuantitativas) usadas para describirlos. Sugerimos finalmente la operación del mecanismo fundamental de agrupamiento dentro de las redes.<sup>2</sup>

#### DE LOS INTERMEDIARIOS A LOS ACTORES

Las redes tecno-económicas están organizadas alrededor de tres polos.

El *polo científico* que produce conocimiento empírico. Este polo consiste en universidades y otros centros de investigación independientes (públicos y privados). Los laboratorios de investigación industrial pertenecen a este polo, en la medida en que sus actividades son similares a las de estos centros de investigación universitaria.

El *polo técnico*, que concibe, desarrolla o transforma artefactos destinados a servir a propósitos específicos. Ejemplos de estos productos son los modelos, los proyectos pilotos, los prototipos, los ensayos y las pruebas, las patentes y los patrones. Los miembros de este polo incluyen los laboratorios técnicos radicados en compañías, los centros de investigación cooperativa, y las plantas piloto.

<sup>2</sup> Aquí remito a otro artículo que trata de la descripción de las redes tecno-económicas flexibles, que constituyen una de las formas dominantes de la actividad industrial contemporánea. Para una caracterización de la morfología de las RTE, véase Law y Callon (1992).

El *polo del mercado*, que contiene usuarios que más o menos explícitamente expresan (producen) demandas –o necesidades– y trata de satisfacerlas.

El proceso de producción e intercambio que podemos observar que ocurre en las RTE involucra a todo un conjunto de series de actividades de intermediación entre estos polos.<sup>3</sup> La creciente incorporación de la ciencia en la tecnología involucra *operaciones de transferencia*. Esta movilización de tecnología para satisfacer las demandas explícitas o potenciales expresadas en el mercado toma la forma de actividades que por convención llamaremos de *desarrollo/distribución*. En general, estas actividades son llevadas a cabo por compañías y por sus redes de mercado.

Los diferentes polos poseen afiliaciones, metas y procedimientos que aparentemente pueden ser mutuamente excluyentes. Por ejemplo puede parecer que un investigador de la estructura fina de las cerámicas, y un usuario que busca un auto confiable, confortable y eficiente, con una buena aceleración, pertenecen a mundos completamente diferentes. En la práctica, sin embargo, se establecen arreglos y vínculos entre los miembros de diferentes polos. Si queremos entender cómo estas actividades son vinculadas unas a otras, debemos explicar la creación de un espacio común, unificado, entre estos polos heterogéneos. Para hacer esto debemos extraer elementos de la teoría sociológica y de la economía.

En la economía, son las *cosas* las que vinculan a los actores entre sí. Un productor y un consumidor entran en relación a través de un producto que uno suministra y otro demanda. Esta situación puede ser generalizada por medio de la noción de *intermediario*. Un intermediario es cualquier cosa que pasa de un actor a otro, y que constituye la forma y la sustancia de la relación establecida entre ellos (artículos científicos, programas de computación, artefactos tecnológicos, instrumentos, contratos, dinero, etcétera).<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Estas actividades de intermediación son bastante similares a los compromisos entre naturalezas, descritas por Boltanski y Thévenot (1987).

<sup>4</sup> Como veremos más adelante, la distinción entre intermediarios y actores debe ser manipulada con cuidado, dado que muy seguido son uno y el mismo.

En la sociología, el comportamiento de los actores es inteligible solo dentro del contexto dentro del cual están siendo considerados: el actor y el sistema (Crozier y Friedberg, 1977); la historicidad (Touraine, 1974); las reglas (Reynaud, 1989); el agente y el campo (Bourdieu, 1980); los papeles y las necesidades funcionales (Parsons, 1977), etc. Ningún actor puede ser disociado de la relación en la cual interviene.

Uniendo los puntos de vista de los economistas y los sociólogos, tenemos actores que se reconocen a sí mismos a través de la interacción. Esta interacción toma forma en los intermediarios que los mismos actores ponen en circulación.<sup>5</sup>

#### LOS INTERMEDIARIOS COMO REDES

Para nuestros propósitos, el rango de los intermediarios puede ser clasificado en cuatro tipos.

1. Textos, tales como informes, libros, artículos, patentes, notas, etc. Estos son bienes materiales, que requieren medios (papeles, discos, cintas magnéticas, etc.) que pueden resistir el transporte y asegurar un grado de inmutabilidad.<sup>6</sup> Aquí estaremos particularmente interesados en los textos científicos.

2. Artefactos técnicos (instrumentos científicos, máquinas, robots, bienes de consumo, etc.) que son (relativamente) estables, organizan grupos de entidades no-humanas que cooperan en el cumplimiento de ciertas funciones, llevando a cabo ciertas tareas.

3. Seres humanos y las habilidades que incorporan (conocimiento, *know-how*, etcétera).

4. Dinero, en todas sus diversas formas.

<sup>5</sup> La solución que propongo para establecer un puente entre sociología y economía es distinta a la que proviene de la noción de "encastramiento" (*embeddness*) revivida por M. Granovetter (1985). Las redes que describe, asociaciones puras entre seres humanos, son muy diferentes de las RTE.

<sup>6</sup> Para la idea de inmutabilidad, que es esencial para entender la acción a distancia, véase Latour (1989).

Mostraremos que cada intermediario, de cualquier categoría, describe (en el sentido literario) y compone (en el sentido de darle forma) una red de la cual en cierto modo forma el sostén y a la cual le confiere un orden.

### Textos

Consideremos ahora los textos, y en particular, los textos científicos (Callon *et al.*, 1986; Latour, 1989). Un texto científico establece ramificaciones y conexiones con toda clase de textos y de inscripciones literarias. Las audiencias son identificadas por medio de la elección del periódico, el lenguaje, el título. Incluso inscripciones muy simples como el nombre de un periódico, de un título, el nombre de los autores, puede dar indicaciones sobre colaboraciones o sobre contribuciones relativas a programas particulares. Las citas muestran los lazos de un trabajo descrito en un texto particular, a otros textos. Palabras, ideas, conceptos, ya conocidos o completamente nuevos, se definen unos a otros, en el curso del texto. El texto puede retratar electrones, enzimas, agencias gubernamentales, óxidos raros, procedimientos de síntesis, dispositivos experimentales, poderosas compañías como IBM, sectores industriales enteros. Todos estos actores se entremezclan y son transformados en destinos vinculados: “dramas socio-técnicos”. El texto se puede referir a otros textos anteriores asociando a los actores de diferentes formas, y extendiendo su red inicial.

Esta noción de texto es esencialmente distinta a la que se cierra sobre sí misma, sujeta a la oposición entre contexto y contenido. El texto es visto como un objeto que define y asocia entidades heterogéneas, su desempeño y sus habilidades: el texto científico es en sí mismo una red, cuya descripción provee.<sup>7</sup>

Esta equivalencia entre un texto y la red que describe (lo que ha sido meticulosamente establecida por los sociólogos de la ciencia) pue-

<sup>7</sup> Existe una disciplina –la *cienciometría*– que está enteramente dedicada a la decodificación de las inscripciones provistas por los artículos.

de ser extendida sin dificultad hasta cubrir todas las diversas inscripciones que circulan entre las RTE, desde diagramas y notas de trabajo dentro de laboratorios, hasta patentes,<sup>8</sup> manuales de uso, catálogos, estudios de mercado. Nos hemos concentrado en los textos científicos debido a que han jugado un papel cada vez más importante en las redes en las que estamos interesados. ¡En verdad, la actividad económica puede ser descripta poco menos que como una actividad que produce bienes de mercado a partir de los textos científicos! Puede también concluirse que, cuando hacemos a un intermediario equivalente a una red, todo lo que estamos haciendo es iluminar las descripciones que provee, creando un contexto adecuado.

### Objetos técnicos

Varias entidades no-humanas (máquinas-herramientas, motores de combustión interna, máquinas de video, plantas nucleares, máquinas expendedoras de boletos, etc.) pueden ser descriptas en términos de redes que vinculan actores heterogéneos. Recientes desarrollos en la sociología de la tecnología –y en particular la obra pionera de Madeleine Akrich y Bruno Latour– nos permite entender cómo ocurre esto. Un objeto técnico puede ser asimilado a un programa de acción que coordina un conjunto de papeles complementarios desarrollados por no-humanos (que constituyen los objetos) y humanos (productores, usuarios, reparadores, etc.) u otros no-humanos (accesorios, sistemas integrados) que forman sus extensiones o componentes periféricos. No es difícil reconstruir el tipo de descripciones que evocan estos programas. Todo lo que uno debe hacer es mirar el objeto tal como está siendo usado, identificando los diversos órganos o actores que intervienen, determinando lo que están haciendo y el modo en que se comunican, se dan órdenes unos a otros, se interrumpen unos a otros, observan ciertos protocolos. Estas descripciones –o “textualizaciones”– de redes

<sup>8</sup> Para un análisis que muestra cómo pueden ser decodificadas las patentes, véase Bowker (1992).

coordinadas por objetos técnicos no son tan infrecuentes como uno pudiera creer. La textualización, que en cierto sentido da capacidad de discurso a un grupo de no-humanos, puede ser visto operando con frecuencia. Miraremos dos instancias.

Ejemplos claros del papel de los no-humanos en las redes pueden encontrarse en las fases del desarrollo y de la disputa (Akrich, 1987; Callon, 1981; Latour y Coutouzis, 1986; Law, 1988; Law y Callon, 1988). Cuando un objeto está todavía en la etapa de proyecto, está continuamente bajo discusión: ¿cuáles deberían ser sus características? ¿Para qué debería ser usado? ¿Qué debería hacer? ¿Cuáles las habilidades que deberían tener los usuarios? ¿Quién debería intervenir en su mantenimiento? Estos debates son siempre socio-técnicos. Tal como se ha mostrado en otro lugar, los ingenieros pueden transformarse a sí mismos en sociólogos, historiadores, moralistas o científicos políticos, en el mismo momento en que están involucrados con las tareas de diseño más técnicas. Por ejemplo: ¿debiera ser un auto considerado simplemente como un mero y simple medio de transporte económico, o es la satisfacción de deseos reprimidos uno de sus rasgos básicos (Callon, 1987)? ¿Es razonable tolerar la intervención del usuario cuando se rompe una linterna con batería solar, o debiera estar herméticamente sellada para prevenir el peligro de las intervenciones de un *amateur* del estilo "hágalo usted mismo" (Akrich *et al.*, 1987)? Cuando están respondiendo a estas preguntas, los diseñadores están tomando decisiones que son inseparablemente técnicas y sociales en su naturaleza. Al mismo tiempo que está siendo definido, el objeto técnico está siendo continuamente encastrado en varios contextos socio-económicos, que constituyen distintas configuraciones posibles de la red.

La red adscripta a un objeto es dividida y examinada en un número de situaciones. Se ponen de manifiesto los papeles jugados por los actores humanos respecto a los artefactos, y las conexiones hechas con otros objetos técnicos. De tal modo, la máquina es interpretada y deconstruida –es decir, puesta en contexto.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Hay tantos giros y deslices inesperados en el diseño de un trabajo tecnológico

La interacción y coordinación de no-humanos y humanos en redes es grabada, por ejemplo, en manuales de mantenimiento, códigos de procedimiento, y otros manuales de usuarios (Akrich, 1989b).<sup>10</sup> En algunos casos, la operación de máquinas requiere habilidades especiales, y el uso de diferentes señales de colores, o textos en la forma de leyendas escritas en la misma máquina. Estas operaciones requieren la interacción humana, así como reflejos emocionales o incluso morales (Latour, 1988). Un artefacto nunca es la confección enigmática y distante a la que es habitualmente reducida. Cuando entra en contacto con su usuario, lleva consigo una corriente de discurso, y despliega las señales de las varias "textualizaciones" que han acompañado sus diseños y desplazamientos (Akrich, 1989a).

Esta capacidad de los objetos técnicos para distribuir papeles a humanos y no-humanos (de un modo más o menos explícito y obligatorio), para vincularlos de modo conjunto (es decir, para crear una red), significa que pueden ser asimilados dentro de programas para la acción que necesariamente producen registros literarios, incluso si los mismos pueden tomar varias formas diferentes. Aquí de nuevo, la red puede leerse en el objeto.

### Habilidades

Las habilidades incorporadas pueden ser de distinto tipo: desde la habilidad para movilizar en cualquier momento una red de relaciones sociales (es decir, humanos), hasta habilidades puramente técnicas, cuya cualidad esencial es la de ser capaces de controlar artefactos que, sin esas habilidades, no funcionarían (por ejemplo, programadores exper-

como en el discurso de alguien bajo tratamiento psicoanalítico –y los usuarios juegan con ello continuamente. De aquí la importancia de la idea, cara a los economistas, del aprendizaje a través del uso (*learning by using*).

<sup>10</sup> Igualmente, la textualización ocurre cuando el objeto da lugar a controversias, formación de redes alternativas y contradictorias. Las descripciones propuestas por los diferentes protagonistas (bajo la forma de acusaciones) son mezclas caóticas de lo técnico y lo social.

tos en sistemas de computación; trabajadores habilidosos que se han disciplinado lo suficiente a sí mismos como para poder trabajar sin gran riesgo en una cadena de montaje automatizada). En otras palabras, es imposible describir adecuadamente una habilidad sin reconstruir la(s) red(es) relevante(s) hecha(s) por humanos, textos y máquinas (Cambrosio y Limoges, 1990; Mustar, 1989). Una vez más, el acto de descripción revela los contextos.

## Dinero

Las funciones tradicionales del dinero incluyen ser un instrumento de intercambio y una reserva de valor. En el primer caso, necesariamente hay algún retorno recíproco del receptor del dinero al dador. El dinero es la base de un mínimo y esencial retorno de información. Estabiliza y sanciona la relación entre el proveedor y el cliente, que otras categorías de intermediario han propuesto. La disciplina de la economía se construye sobre el análisis sistemático de esta relación, y en lo que dice acerca de los actores involucrados y su compromiso recíproco. Por supuesto, la información no es la única forma de retorno; el reconocimiento, la reputación, la legitimidad, la fidelidad y la credibilidad son otros posibles retornos. Sin embargo, no examinaremos aquí estas formas de retorno, dado que juegan un papel secundario en las redes con las que estamos tratando.

Respecto al dinero como reserva de valor, las cosas son aún más claras. El dinero permite fundamentar proyectos públicos y privados. Cuando eso ocurre, el flujo de dinero es acompañado por órdenes, indicaciones y recomendaciones que traen, definen y vinculan una serie de actores humanos y no-humanos (Aglietta y Orlean, 1982). El siguiente constituye un ejemplo de un enunciado que acompaña el flujo de dinero: coopere con X del laboratorio Thompson y con Y del laboratorio Z para alcanzar una temperatura crítica de 150 °K, y usted obtendrá un subsidio de \$A. Una vez más, el dinero vincula una serie de papeles, actuando como red en sí.

## Intermediarios híbridos

La categoría de intermediarios –anteriormente descrita– puede ser llamada pura. En la vida real, sin embargo, uno normalmente encuentra intermediarios *híbridos*. Por ejemplo, el proceso de “textualización” se generaliza y entramos en la “civilización” de inscripciones que cubre toda forma de intermediarios. Cuanto más se escribe, más se vincula, y cuanto más se vincula, más se escribe. De manera similar, la hibridación entre actores humanos y no-humanos puede devenir tan intensa que difícilmente podamos distinguir entre estos dos tipos de intermediarios. El mejor ejemplo de este tipo de hibridación es provisto por los sistemas de inteligencia distribuidos, que mezclan computadoras que requieren a programadores, y programadores que movilizan computadoras.

La impureza es la regla, y se ejemplifica particularmente bien en el sector de servicios. En este sector los humanos y los no-humanos forman grupos de intermediarios que son intercambiados juntos, como paquetes. Por ejemplo: el paquete de vacaciones involucra muchas computadoras, aleaciones capaces de soportar la fuerza de propulsión de un jet en el momento del despegue, departamentos de investigación, estudios de mercado, anuncios, aeromozas y personal que sonríe mientras transporta las valijas de los viajeros, préstamos bancarios, etc. El análisis de los intermediarios que estamos proponiendo nos permite tanto el estudio de la economía de bienes “materiales” como de servicios “no materiales”, con las mismas herramientas teóricas. Todo lo que se requiere es que uno acepte el añadido de unos pocos textos más y del personal necesario para los grupos en cuestión.

## Decodificando a los intermediarios

Las consideraciones previas muestran que cada intermediario (puro o híbrido) describe más o menos explícita y consensualmente una red, es decir una colección de humanos y no-humanos, entidades individuales y colectivas (definidas por la función y la identidad) y las relaciones

en las que intervienen. Esto tiene dos consecuencias. La primera concierne al papel crucial jugado por los intermediarios en el establecimiento del vínculo social, al cual le dan existencia y consistencia: los actores se definen unos a otros por medio de los intermediarios que ponen en circulación. La segunda es metodológica: el vínculo social puede ser leído en las inscripciones que marcan los intermediarios. Durante el Renacimiento se produjo mucho deleite al leer el gran Libro de la Naturaleza. Debemos extender la metáfora, y tratar de “leer” fervientemente a todos los intermediarios que pasan por nuestras manos – artefactos, textos científicos, organizaciones, y el frío dinero. En este contexto la sociología es simplemente una extensión de la ciencia de las inscripciones; debe volver su atención parcialmente fuera de los actores para mirar a los intermediarios y considerar lo que los hace actuar y hablar como lo hacen.

### Actores

Denominamos “actor” a cualquier entidad capaz de asociar los diversos elementos que hemos listado antes, y que define y construye (con más o menos éxito) un mundo poblado con otras entidades, les da una historia y una identidad, y califica las relaciones entre ellos. Si mantenemos esta única definición, no sería erróneo decir que un intermediario puede ser un actor. ¿Por qué entonces es necesario introducir de nuevo la noción de un actor? ¿Por qué no hacerlo con la noción de intermediario? Veremos que esta distinción es esencial tan pronto como intentamos explicar los mecanismos de atribución.

Cualquier interacción incluye un mecanismo para la atribución de intermediarios. Además, esta atribución muchas veces es inscrita en los intermediarios en sí mismos. El artículo científico por ejemplo, es firmado, y el objeto técnico tiene una marca registrada. Las habilidades incorporadas son atribuidas, al menos bajo nuestra ley, al cuerpo mismo y al sujeto que se dice que los “anima”. Uno de los elementos esenciales de la descripción contenida en un intermediario es la identificación del actor que reclama la atribución de los derechos de autor.

Esta identificación, tal como todas las otras hipótesis hechas por el intermediario, no es menos controversial que otros elementos de la red, está siempre abierta a la disputa y al cuestionamiento. Su solidez o legitimidad depende de las convenciones que presupone, y sin las cuales el potencial intercambio sería improbable. Es imposible hacer una distinción absoluta entre un actor y un intermediario, excepto por los mecanismos de atribución vinculados al primero: un actor es un intermediario atribuido que pone a otros intermediarios en circulación.<sup>11</sup> De tal modo, un actor puede ser descrito como un transformador, produciendo (por combinación, mezcla, concatenación, degradación, computación, anticipación, etc.) una generación de intermediarios N+1 más allá de la generación N. Los investigadores transforman textos, aparatos experimentales y becas en nuevos textos; las compañías combinan máquinas y habilidades incorporadas como para dar nacimiento a productos o servicios que son puestos en circulación, para el uso de los consumidores, que juegan ciertos papeles.

¿Un grupo es un actor o un intermediario? ¿Un actor es una fuerza de conservación o de transformación? Distinguir entre actores e intermediarios no tiene nada que ver con la metafísica, la ontología o la filosofía de los derechos del hombre. Es sobre todo un problema empírico, cuya solución debe encontrarse en la observación.

Los actores, como los intermediarios, pueden ser híbridos, combinando diferentes elementos. Pueden ser colectivos, individuales o de otra manera. En cualquier caso, el observador se ve obligado a crear

<sup>11</sup> Supongamos que la persona que se encuentra en el diván de la nota anterior no es considerada el sujeto a quien su discurso puede ser atribuido (este caso no es totalmente fantástico: el tratamiento psicoanalítico afirma desde el principio que es “eso” lo que habla, y no el sujeto, del mismo modo que el exorcismo busca descubrir a Satán). En el mismo movimiento, el actor cambia. La persona bajo tratamiento es solo el medio elegido por el inconsciente para expresarse a sí mismo, deviniendo un conjunto de síntomas a decodificar. La persona en el confesionario tampoco posee libertad, sino que está poseída por el Diabolo. Como se ve en estos ejemplos, el observador no tiene que oponer su interpretación a la de los actores para indicar el recurso al inconsciente o al diablo con el fin, por ejemplo, de volver a dar al analizado, o a la señora que se confiesa, la responsabilidad de sus intermediarios.

hipótesis acerca de una ontología con un contenido y una geometría variables. Esta variabilidad en lo que hace al actor se aplica a todas las formas de grupos. Se sostiene igualmente para compañías y para asociaciones entre humanos y no-humanos.

## REDES DE TRADUCCIÓN

Cualquier grupo, actor o intermediario, describe una red, es decir: identifica y define otros grupos, actores e intermediarios, así como la naturaleza y la forma de la relación que los une. De esta manera, estas descripciones constituyen diversos puntos de detención, asimetrías y pliegues (Deleuze, 1989). Un actor A transforma intermediarios de rango N con los que acuerda estar involucrado, en intermediarios de rango N+1. Los intermediarios modificados constituyen de este modo diversos escenarios que llevan la firma de su autor, y que buscan actores listos para jugar los papeles que inscriben. Lo que emerge es entonces un actor-red, que puede escribirse bajo la forma  $N(A) = Br^1C, Cr^2E, Fr^3H, Kr^4L$ .  $N(A)$  significa que estamos tratando con una red que es atribuida a A, poniéndola en circulación. Podemos decir de A que define (en la forma de intermediarios interpuestos) una serie de entidades/grupos B, C, E, F, H, K, L (actores o intermediarios, humanos o no-humanos, puros o híbridos, colectivos o no) y al mismo tiempo las relaciones  $r^1$ ,  $r^2$ ,  $r^3$  y  $r^4$  que los vinculan.  $N(A)$  no es otra cosa que la acción misma que construye redes (tanto consolidando redes que ya existan, o desarrollando nuevas), poniendo intermediarios en circulación. No tenemos necesidad de mayores definiciones.

Una vez que hemos establecido la distinción entre actores e intermediarios –y también su estrecha interdependencia– aún debemos resolver un problema. ¿De qué modo los diferentes actores-red alcanzan un acuerdo cuando no existe una razón *a priori* por la cual sean compatibles unos con otros? ¿Por qué al menos alguno de estos acuerdos posee una considerable durabilidad? Sería posible para B no aceptar la definición de sí mismo implicada por su relación con A,

o para C no atribuir otra identidad a B. La respuesta a esta pregunta se encontrará en el proceso de convergencia e irreversibilización de las redes tecno-económicas. Antes de presentar este punto, necesitamos desarrollar un análisis de la relación elemental establecida entre dos actores A y B, lo que podemos llamar la operación de *traducción* (*translation*) (Callon, 1976, 1980b, 1986, 1989; Callon y Law, 1982; Latour, 1984, 1989; Law, 1986).

## Traducción

La operación de traducción es realizada por una entidad A sobre otra entidad B. Tanto A como B pueden ser actores o intermediarios, humanos o no-humanos. El enunciado “A traduce a B” puede tener dos significados diferentes. En primer lugar, significa que A provee una definición de B. Al hacerlo A puede imputar a B ciertos intereses, proyectos, deseos, estrategias, reflejos y reflexiones. A elige entre todas estas posibilidades, pero esto no significa que A posee libertad total. Lo que A hace o propone es consecuencia de una serie total de operaciones de traducción entreteljadas, algunas de las cuales determinan traducciones subsecuentes, al punto de preprogramarlas. La regla general es que un actor traduce a muchos otros, entre quienes establece relaciones. Volviendo a la notación precedente, podemos decir que A traduce a B, C, D y E. Estos últimos están en algún sentido interdefinidos por A, dado que de acuerdo con toda la evidencia, lo que es B depende de sus relaciones con C y D. Al mismo tiempo que define B, C, y así en más, A también se define a sí mismo.

Estas definiciones, y esta es la segunda dimensión de la traducción, están siempre inscriptas en los intermediarios. Esto se sigue directamente del análisis precedente. Estos intermediarios pueden ser igualmente discusiones en torno a una mesa, declaraciones públicas, textos, objetos técnicos, habilidades incorporadas, o dinero. No tiene ningún sentido hablar de traducción en general: uno debe comenzar por definir el medio, el material en el cual es inscripto. A traduce a B. A puede ser la compañía que ha concebido, producido y distribuido una máquina, y B

los usuarios, satisfechos o no, que ocupan la posición de tal modo creada para ellos como usuarios. De manera alternativa A puede ser el autor de un artículo científico, del cual B puede ser, por ejemplo, la audiencia destinataria, o la enzima cuyo funcionamiento es descripto. En otro caso A puede ser el prestamista de un crédito bancario a B. Claramente la traducción involucra tres términos:  $A \rightarrow I$  (intermediario)  $\rightarrow B$ .<sup>12</sup>

La traducción cambia con el tiempo. A veces tienen éxito estableciendo un compromiso, que es el fruto de las repeticiones y negociaciones más o menos largas y difíciles (Akrich *et al.*, 1987). Este compromiso articula la definición de B por A con la de A por B, inscribiéndolos en intermediarios (textos, máquinas, habilidades incorporadas, etc.). Estos después devienen su punto de apoyo, su ejecutor más o menos fiable. El desvío que opera la traducción –usamos este término en el sentido que los economistas hablan de desvío productivo– puede ser más o menos complicado. Pueden involucrar cualquier cosa: desde el intermediario aislado, homogéneo hasta los intermediarios híbridos (que consisten en una cascada de intermediarios que interponen toda una serie de papeles articulados entre A y B, donde cada papel está vinculado al otro por ganchos y lazos de realimentación). La traducción ubica la interdefinición de actores y sus inscripciones en intermediarios en el corazón del análisis. Extiende la definición tradicional de acción.

## EL PROCESO DE IRREVERSIBILIZACIÓN

Una ventaja de las definiciones precedentes es que no establecen ninguna solución única al problema de proveer continuidad entre la red y el actor. Cuando dos traducciones se vinculan entre sí, forman una tercera traducción. A traduce a B, C y D; B a su vez traduce a C, E, F y M; C traduce a E, G, M; D traduce a C, F, G, Q... Y, por supuesto, no hay

<sup>12</sup> El intermediario (puro o híbrido) es lo que hemos llamado en otro lado el operador de la traducción, o también el aparato para hacer surgir el interés (*dispositif d'interressement*).

necesidad de limitarse al punto de vista de A, o hacer de eso el principio de la organización de la red. A puede ser traducido por X, Y y Z, y retraducido por F o C. Una red puede ser formada por el añadido de todos estos actores-red generalmente policéntricos, en la cual los intermediarios circulan y se vinculan entre sí. Estos pertenecen a diferentes categorías, que ya hemos distinguido, y proponen rangos de traducciones más o menos compatibles, más o menos contradictorias. De tal modo, detrás de la heterogeneidad de los actores, podemos encontrar textualizaciones y descripciones que alguna vez acuerdan unas con otras, y forman cadenas. Es en estos procesos donde, si es que existe, debe buscarse la conmensurabilidad, y no en las capacidades cognitivas de los actores.

Hemos ahora progresado lo suficiente como para comenzar la descripción de esta compleja dinámica. Dos conceptos nos serán útiles para producir esta descripción: los de *convergencia* y de *irreversibilidad*. Ambos están involucrados en los actos de traducción y en las redes que a veces logran formar.

## Convergencia

El concepto de convergencia concierne al grado de acuerdo generado por una serie de traducciones, y por los intermediarios de todo tipo que las operan. Al mismo tiempo, revela las fronteras de una RTE. La convergencia opera de dos modos, por medio del alineamiento y por medio de la coordinación.

Para definir *alineamiento*, prestaremos atención a la operación elemental de traducción  $A \rightarrow I \rightarrow B$ . El intermediario I, y las definiciones de A y B que ofrece, encontrarán una aceptación más o menos amplia o serán más o menos contestadas. Para las situaciones de controversia o conflicto existe el adagio "*traduttore traditore*" –traducir es traicionar.

La traducción es, a veces, denunciada de este modo: los trabajadores no quieren cumplir el papel asignado por la máquina, los usuarios desprecian la calidad y el uso de un producto o servicio determinado que se les ofrece, los científicos contestan los argumentos de sus colegas-científicos, los electrones no pasan más de un electrodo

a otro. De manera simétrica, el inventor niega su innovación, el autor exclama: “Solo hablé acerca de la memoria del agua para hacer crecer su curiosidad, para expresar el vuelo de mi fantasía y no para establecer un hecho”. Este desacuerdo puede ser más o menos extenso, y puede concentrarse en A o en alguno de sus intermediarios. Con el fin de interrumpir una traducción, B puede desafiar a A o a I, tanto explícita como implícitamente.

En el otro punto del continuo, la traducción puede ser aceptada hasta el punto en que simplemente se desvanece, desapareciendo bajo la forma de una relación construida y un compromiso negociado. Todo lo que queda es un acuerdo autoevidente. Hay una clara empatía, un segmento perfecto de información que circula sin dificultad.

Entre estos dos extremos se encuentran todas esas situaciones, tan bien descritas por la teoría de los juegos, en las cuales A se esfuerza por anticipar lo que B quiere, y está pensando cómo cada cual se pone en el lugar del otro, donde las traducciones a veces tienen éxito en estabilizarse luego de una larga serie de interacciones y especulaciones.

La traducción exitosa crea el espacio compartido faltante, la equivalencia y la conmensurabilidad: alinea. Allí donde falla, A y B retornan a su inhabilidad para comunicarse, y a través de un proceso de no alineamiento se reconfiguran en espacios sin una medida común. Lo que es central para el análisis es que la traducción fluye a través de los intermediarios y mantiene su lugar a través de ellos.<sup>13</sup>

Cuando la traducción es “perfecta”, lo que A dice de A, I y B es lo mismo que B dice sobre A, I y B, o lo que I dice de A, I y B. La equivalencia es total, y los discursos pueden superponerse perfectamente, sin ninguna ambigüedad. Cuanto más se diverge respecto al acuerdo, más diferencias e incoherencias hay. A no habla más de I en los términos que usa B, la definición de B dada por A no coincide con la que B da

<sup>13</sup> Puede mostrarse que las máquinas, cuerpos humanos y textos, considerados como intermediarios, son al mismo tiempo la base de toda interpretación, incompreensión y también de toda (re)conciliación (el teléfono crea un espacio común que integra tanto como la religión de Durkheim o el habitus de Bourdieu, las plantas nucleares generan conflictos tan intensos como los que se producen en torno a los derechos humanos).

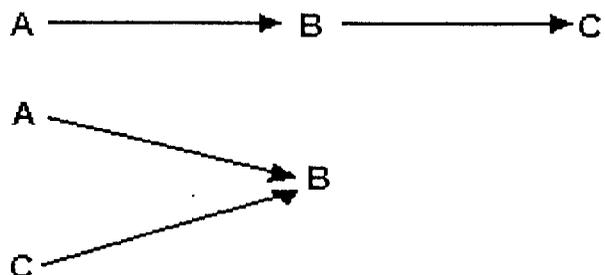
de sí mismo, etc. En la primera instancia hay una isotropía, en la última el espacio creado está lleno de discontinuidades; el rango va de la armonía a la polifonía y a la cacofonía.

Una red comienza a estar constituida tan pronto tres actores A, B y C están alineados (por intermediarios interpuestos). Hay dos posibles configuraciones básicas para este alineamiento (figura 1). La primera corresponde a la situación de complementariedad (que resulta de la transitividad de las relaciones: A traduce a B, que traduce a C; de este modo A traduce a C); la segunda, corresponde a una situación de sustitución (A traduce a B, quien también es traducido por C, que da una definición similar de B).

El grado de alineamiento depende del grado de éxito de las traducciones (y en el caso de la sustitución, de la extensión de su similitud). Igualmente esta propiedad que se sostiene para tres elementos (A, B, C) le permite a uno identificar conjuntos de relaciones obtenidas por la composición de traducciones (desde el momento en que una cadena de traducciones es en sí misma una traducción). La red es construida de acuerdo a la lógica propia de la traducción. La agregación no es un procedimiento inventado por el observador en función de simplificar la complejidad de la realidad, es el auténtico momento de la vida social. Cualquiera sea su extensión y su grado de complejidad, es posible medir, al menos cualitativamente, el grado de alineamiento de cualquier red de traducciones. Hablaremos de alineamientos fuertes cuando en cualquier punto la traducción alinea a los actores (cualquiera sea el A y el X que uno elige, en cualquiera hay una cadena de traducciones de modo tal que A traduce a X, o hay un C tal que A y X traducen a C en los mismos términos); será débil en el caso inverso.<sup>14</sup>

<sup>14</sup> Debiéramos lidiar con la pregunta acerca de cómo la noción de alineamiento se aplica a los diferentes polos de una RTE. Tómese el caso del polo del mercado. Los usuarios serán alineados según si soliciten todos el mismo producto estandarizado (sustituibilidad), según si las elecciones operadas por cada uno de ellos están mecánicamente ligadas a las elecciones hechas por los otros (complementariedad). En la primera configuración encontramos el modelo neoclásico ortodoxo, y en el segundo caso una situación próxima a la descrita por la sociología del consumo o por la economía de las externalidades de red. Debiéramos agregar que para analizar las estructuras de mercado, tal como son definidas por los economistas (confrontación de una oferta y una deman-

Figura 1



Cualquier operación de traducción es acompañada por un proceso de atribución, como resultado del cual los intermediarios en circulación son imputados a los grupos, quienes de tal modo son transformados en actores. Estas atribuciones son una función del juego de las interacciones, las que son –al menos parcialmente– codificadas en reglas o convenciones. Estas últimas son –al mismo tiempo– el producto de las interacciones pasadas y un principio regulatorio posible para interacciones presentes y futuras. Por supuesto estas convenciones pueden ser implícitas o explícitas, y siempre evolucionan y es posible revisarlas.

*¿Qué categorías de convenciones se aplican a la traducción  $A \rightarrow I \rightarrow B$ ?*

El primer conjunto de reglas trata con la identidad de A como actor. ¿Está justificada la pretensión de A de ser actor? ¿Es realmente A un actor? En otras palabras, ¿pueden atribuirse intermediarios a A? Aquí hay un universo de convenciones, desde leyes escritas a la costumbre. Estas convenciones atraviesan los diferentes polos de las RTE.

da), nos hace falta agregar a la descripción de nuestro polo del mercado la descripción del polo técnico y la del polo *TM*. Así, dado que la variedad de configuraciones es reducida; es fácil mostrar que se vuelven a encontrar las principales estructuras conocidas y que se engendran nuevas.

Algunos ejemplos: la definición de una entidad legal, que permite la atribución de los productos que pone en circulación a una compañía; la legislación vinculada a la propiedad industrial, que puede negar a los inventores el derecho a explotar su propia invención, atribuyéndoselo a la compañía que paga el salario del inventor; o la ley no escrita que prohíbe a quien financia un programa de investigación firmar los artículos que resultan de él.

El segundo conjunto de reglas concierne a la atribución de una serie de intermediarios a un actor particular. A puede ser el actor A, pero esto no significa necesariamente darle la atribución de I. Esta atribución es una función de las habilidades de A. Esto también depende de un cierto número de convenciones más o menos complicadas, explícitas y transgredibles.

Asumamos que A es el actor A y ha logrado la atribución de I. Como resultado A puede hablar en el nombre de B. Pero este derecho siempre puede ser contestado por B o por cualquier otro actor. Aquí atravesamos un tercer conjunto de regulaciones, que codifican el espacio de las posibles denuncias de A. Esto es particularmente explícito en la esfera política, con sus procedimientos legitimados para designar representantes; y también en la industria, bajo la forma de acuerdos contractuales o acuerdos colectivos que detallan la jerarquía de responsabilidades y las condiciones de trabajo.

Todas estas convenciones producen el mismo resultado (más o menos estricto o negociable), que es constreñir el universo de los actores posibles organizando atribuciones y limitando el número de traducciones estabilizadas. Propongo llamar a estos procesos regulatorios, formas de coordinación. Codifican traducciones, pero solo hasta un punto, y con grados diversos de durabilidad, constreñimientos y aperturas al cambio. En las RTE –que incluyen investigadores, compañías, usuarios, tecnólogos– diversas formas de coordinación pueden estar operando de manera simultánea (el mercado, la organización, la confianza, el reconocimiento...). Cualquiera de ellos puede ser visto como un conjunto específico de convenciones que definen los regímenes de traducción (derechos de autor, mecanismos de atribución,

la habilidad de hablar en nombre de X, etc.), así como definiendo las categorías particulares de intermediario que sirven como medio para la traducción.

Dado que en este texto no estoy ocupado con el contenido de ninguna coordinación, sino con su papel en el establecimiento y la dinámica de la traducción, distinguiré dos situaciones extremas. Estas corresponden a la clasificación propuesta por Thévenot (1985) en su análisis del grado de generalidad de las inversiones de forma. En un extremo se puede encontrar procesos de coordinación que involucran a todos. Su objetivo es aplicarse a todos sin distinción (el objeto de la convención es, naturalmente, definir esta generalidad: un ciudadano, un diploma oficial, un préstamo garantizado, la estandarización de un objeto técnico, etc.). En el otro extremo se puede encontrar coordinación local, cuyo alcance es limitado. Es decir que, aún cuando se alimenta de convenciones más generales, aspira a parcelar el universo completo de los intermediarios, actores y sus relaciones en subconjuntos específicos (una red, o el polo de una red) fuera de los cuales estas convenciones pierden su validez.

Esta definición abstracta corresponde con facilidad a realidades identificables. He aquí un número de instancias regulatorias con un alcance limitado: la constitución de un *cartel*, el establecimiento de un acuerdo colectivo para un sector industrial, la adopción de requerimientos para calificaciones, la creación de una norma técnica limitada a unos pocos productores y usuarios, el establecimiento de un grupo de consumo, la organización de una asociación profesional o una sociedad científica, la constitución de un centro de investigación cooperativa. En estos casos, estamos tratando con coordinación local, que frecuentemente presupone la existencia de regulaciones generales más abarcativas (leyes antimonopolio, leyes sobre asociaciones, etcétera).

Evidentemente, uno no debería reificar estas distinciones. Es claro que el grado de generalidad de una regla es siempre relativo y que es el resultado de un proceso de construcción. La convención más general es en principio susceptible de devenir local nuevamente si las denuncias o los desafíos a los que es sometida tienen éxito en invertir

el balance de fuerzas en su favor (Reynaud, 1989). Adicionalmente, siempre es posible imaginar la extensión progresiva de acuerdos locales (la convención de un sector que se impone sobre toda la economía, una norma privada que se transforma en pública, que devengan generalizadas condiciones que garantizan créditos, etc.). Usaremos el término “coordinación débil” para caracterizar una red que no ha añadido reglas locales o procedimientos a las convenciones que son seguidas generalmente. Hablaremos de “coordinación fuerte” para el caso inverso. Cuando la coordinación es fuerte, el universo de las traducciones es limitado y las redes devienen más predecibles. Cuando es débil, este universo está menos constreñido y hay más posibilidades de desarrollo y de asociación.

Llamemos *grado de convergencia de una red* al índice combinado que resulta de sus grados de alineamiento y coordinación. Este concepto descansa en la simple idea de que cuanto más alineada y coordinada se encuentra una red, más componen los actores su trabajo juntos en una empresa común, sin estar permanentemente desafiado su estatus de actor. Esto no quiere decir que cada cual hace lo mismo (recuérdese que estas redes pueden incluir investigadores, tecnólogos, empresarios, vendedores y usuarios), simplemente significa que las actividades de cualquier actor se ajustan con facilidad a las de los otros actores, a pesar de su heterogeneidad.

Para ilustrar adicionalmente el significado de una red convergente, podemos decir que cualquier actor que pertenece a la red, cualquiera sea su posición (investigador, ingeniero, vendedor, usuario, etc.), puede en cualquier momento identificar y movilizar todas las habilidades de la red sin tener que estar involucrado en adaptaciones costosas, traducciones o decodificaciones. La red como un todo está detrás de cada actor que la construye. Frente a un cliente enojado, por ejemplo, el vendedor sabe inmediatamente qué ingeniero llamar, cómo formular el problema de modo tal que dicho ingeniero pueda hacer el trabajo y que este ingeniero, si es necesario, pueda establecer una conexión con un investigador básico que reciba el mensaje, apropiadamente reformulado. De regreso del laboratorio, por toda una serie de intermediarios y de sucesivas tra-

ducciones, vendrán recomendaciones, réplicas, medidas y decisiones que permitirán al vendedor mantener al cliente vinculado a la red. Lo que se mantiene en una dirección se sostiene en la otra.

En una RTE altamente convergente, los investigadores básicos están bien conscientes del hecho de que los problemas que se les plantean coinciden con una red de expectativas y demandas listas para tomar sus resultados una vez que emergen de su laboratorio. El mundo que rodea a los investigadores ha sido preparado desde hace tiempo de modo tal que la posición del laboratorio y sus tópicos de investigación están estrechamente atados a lo que los otros actores hacen, quieren y esperan. Una red totalmente convergente sería una suerte de Torre de Babel, en la que cada cual hablaría en su propio lenguaje y todos los demás podrían entenderlo, y donde cada cual tendría habilidades que todos los otros sabrían cómo emplearlo de la mejor manera. Una red de este tipo sería particularmente eficiente, dado que podría disponer al mismo tiempo de la fuerza de lo colectivo y la capacidad sintética del individuo. Cualquier actor particular estaría en condiciones de hablar en el nombre de todos, movilizándolo al mismo tiempo todas las habilidades y las alianzas de la red.

Una red de este tipo, capaz de concentrarse a sí misma en un punto, al mismo tiempo que se despliega simultáneamente en varios ambientes de ciencia, tecnología, industria y consumo, es por supuesto una excepción, un caso límite.<sup>15</sup> Por vía de contraste, podemos com-

<sup>15</sup> El arquetipo de la RTE, en la que se conforman relaciones sin ninguna discontinuidad desde la ciencia hasta el mercado, es provisto por el bello estudio sobre la ciencia de los materiales del equipo Beta: en un extremo el usuario que expresa una demanda en términos de funciones por cumplir (un material adhesivo, resistente al calor, ligero, capaz de absorber tales o tales presiones mecánicas); en el otro extremo una investigación fundamental sobre las microestructuras físicas que permiten asegurar a los materiales la combinación particular de las propiedades solicitadas. Entre los dos, materiales de hechura compuesta, sistemas de producción flexibles que permiten optimizar la producción de diferentes gamas de productos, un esfuerzo de investigación sobre tecnologías genéricas como la soldadura, el pegado, colaboraciones, alianzas, convenios de investigación, etc. Brevemente, hay una relación casi directa que va de la investigación más fundamental hasta el consumidor, pero que pasa por toda una serie de etapas intermedias que han sido cuidadosamente articuladas unas con otras (Cohendet *et al.*, 1987).

pletar el rango de posibilidades mirando a otra situación extrema: la de la red muy débilmente convergente, donde es difícil para un actor dado obtener reconocimiento como actor, o movilizar el resto de la red, aún cuando la red está lo suficientemente establecida como para hacer esta movilización aún con gran dificultad.

Estos ejemplos muestran que la construcción de redes convergentes presupone largos períodos de inversión, esfuerzos intensos y coordinación.

### Fronteras

La frontera de una red puede ser relacionada con su grado de convergencia. Diremos que el elemento Y está afuera de la red si al colocar los vínculos entre este y los actores (A, B, C...) que están dentro de la red disminuye significativamente el grado de convergencia de la misma red: el alineamiento y la coordinación son debilitados por la nueva traducción que se requiere.<sup>16</sup> Una posible objeción es que puede ser difícil cuantificar estas relaciones. ¿Cómo podemos calcular un grado de convergencia, dándole un valor numérico (sin el cual sería imposible trazar el borde), para distinguir un adentro de un afuera? Esta cuestión nos retrotrae a los métodos concretos que permiten a uno discernir y describir traducciones, es decir, recuperar las diferentes categorías de intermediarios que las redes han adscrito. Dado que cualquier intermediario puede ser expresado en palabras o textos, la cuestión entonces deviene en: ¿cómo es posible analizar un abigarrado cuerpo de textos que definen actores, su identidad y sus relaciones? De hecho, el algoritmo apropiado es extremadamente simple, aún si presupone una enorme cantidad de cálculos. La traducción de B por A ha tenido éxito en directa proporción al número de textos o "textualizaciones" en las cuales las

<sup>16</sup> Como puede verse, esta definición es diferente a la usada en los algoritmos clásicos sobre agrupamientos, que trazan los límites de una agrupación como una función de un umbral impuesto en base a la intensidad de las relaciones entre elementos. Lo determinante es el grado de convergencia, y no la intensidad de una relación dada.

definiciones de A y de B, así como las relaciones entre ellos, coinciden (siendo idénticos todos los enunciados de la forma ArB). Así como lo muestra el análisis de las palabras asociadas (que prefigura la programación necesaria), esta capacidad de cómputo no está más allá de las fronteras de lo posible, y aproximaciones razonables pueden desarrollarse sin demasiada dificultad (Callon *et al.*, 1986).

La cuestión de las fronteras lleva a distinguir entre dos tipos de RTE: *redes largas* y *redes cortas*. Las primeras son las que incluyen todo el conjunto de polos e intermediarios enumerados más arriba. En particular, las que se extienden a partir de la investigación académica básica. Los sectores industriales correspondientes son lo que los economistas llaman “basados en el conocimiento científico”. Las redes cortas no son tan extensas. Incluso si hay encuentros ocasionales con la investigación básica, estos lazos no son estables o sistemáticos. La red es básicamente organizada alrededor de polos técnicos y mercantiles. Esta distinción mide la extensión del desvío que debe ser organizado con el fin de crear o desarrollar un mercado. En ciertos casos se extiende directamente hasta los laboratorios que hacen investigación fundamental. En otras instancias, no van más allá del mundo de la tecnología. Aún cuando sean cortas o largas, las RTE tienen una propiedad básica en común: ser capaces de estimular y organizar interacciones entre las diferentes actividades que coordinan (Gaffard, 1989).

### Irreversibilización

El concepto de traducción conduce al de irreversibilidad. La irreversibilidad de una traducción depende de la imposibilidad que crea para retornar a una situación en la cual parecía ser la única opción entre otras, y también la predeterminación de traducciones posteriores.

Esta definición no impide hablar de grados de irreversibilidad. La traducción  $A \rightarrow I \rightarrow B$  elimina más o menos definitivamente una proporción mayor o menor de traducciones competidoras. Predetermina –más o menos fuertemente– traducciones futuras y, en particular, las identidades de los actores. Definida de este modo, la irreversibilidad

de una traducción no es una propiedad que el observador puede medir independientemente. Es una característica relacional, que solo se hace evidente cuando es sometida a prueba. La imposibilidad de otras traducciones (pasadas o futuras) para desarrollarse e imponerse es una batalla, una lucha que nunca está definitivamente ganada, y cuyo resultado depende de los actores en juego.

¿Cómo puede una traducción tener éxito en resistir los repetidos y obstinados ataques de las traducciones competidoras, y finalmente eliminarlas sin ninguna posibilidad de que regresen? La respuesta a esta pregunta descansa en dos palabras: durabilidad y robustez. Estas propiedades, que solo pueden ser medidas en la refriega, son sobre todo propiedades de los intermediarios, de los operadores de la traducción. Es posible retratar todos los grados posibles de resistencia; su grado de robustez dependerá de la medida en que las identidades de A y B, tal como son inscriptas en la traducción, devienen resistentes.

En efecto, A y B son grupos que se mantienen juntos más o menos bien. Son colectivos híbridos, constantemente amenazados por el disenso y las crisis internas. Estarán mejor protegidos de estas cuestiones y del desmembramiento (y esto vale para una planta, una unión, o un equipo de trabajadores hábiles o de investigadores) en la medida que sus elementos constituyentes estén fuertemente asociados. Debemos, sin embargo, ser prudentes en nuestra descripción de los mecanismos por los cuales las traducciones se imponen a sí mismas y eliminan su competencia. Ninguna estrategia asegura *a priori* la victoria. En términos generales, puede decirse que la irreversibilidad se incrementa en proporción al grado en que se crean efectos sistémicos, donde cada elemento traducido, cada intermediario y cada traductor, está inscripto en un conjunto de interrelaciones. En este caso, modificando cada uno de los elementos, es decir definiéndolos de manera diferente, presupone que uno se involucra en un proceso de retraducciones generalizadas. Vamos a aventurar la siguiente proposición: cuanto más heterogéneas y numerosas son las interrelaciones, más fuerte es la coordinación y más elevada son las probabilidades de una resistencia exitosa a las traducciones alternativas.

Cualquiera sea la durabilidad y la robustez de la traducción, nada dice sobre la extensión de los condicionamientos hechos a futuras traducciones. ¿En qué medida un texto científico que “traduce” un anticuerpo monoclonal, estableciendo sus atributos, y que resiste los ataques más furiosos, vuelve necesaria una estrategia de investigación y un desarrollo industrial? ¿En qué medida una microcomputadora y su programa, que asigna a sus usuarios papeles precisos y que define (al mismo tiempo que jerarquiza) los problemas que pueden ser tratados, vuelve predecibles ciertos comportamientos y ciertas operaciones?

Uno podría decir que una traducción es irreversible en la medida que vuelve las traducciones alternativas improbables. El concepto de *aprendizaje* es central para analizar una situación de este tipo. El aprendizaje designa el conjunto de mecanismos por los cuales, a través de la adaptación mutua, los diferentes elementos involucrados en una traducción (A, I y B) devienen exclusivamente dependientes del otro. B no puede trabajar excepto con la máquina herramienta I. Tales objetos técnicos no pueden ser desarrollados excepto por especialistas que han recibido un entrenamiento especial. El tráfico de A obliga a poner a I en circulación y así en más. De tal modo las decisiones dependen de la historia de las traducciones pasadas. La creación de efectos sistémicos y el proceso de aprendizaje refiere de nuevo a mecanismos más fundamentales: el de la *normalización* del comportamiento que acompaña (y mide) la *irreversibilización* de la traducción  $A \rightarrow I \rightarrow B$ .

Tal como lo nota David (1987), este proceso se aplica a todas las categorías de grupos, que pueden involucrar varios grados de asociación entre humanos, no-humanos, textos y dinero. Las funciones de normalización son las de volver una serie de vínculos predecibles, para limitar las fluctuaciones, alinear actores e intermediarios, y cercenar el número de traducciones y la cantidad de información que ponen en circulación. La normalización opera a través de la estandarización de las diferentes clases de interfaces: actores/intermediarios, intermediarios/intermediarios, intermediarios/actores. Esta normalización es más o menos obligatoria –yendo desde los patrones de referencia a interfaces totalmente compatibles por medio de la definición de umbrales

de máxima y de mínima. Si la relación A-I-B está normalizada, puede contribuir poderosamente a la producción de efectos sistémicos. Los elementos que la constituyen solo pueden relacionarse con elementos bien definidos que adoptan los mismos patrones compatibles.

Cuanto más estrictas son las *reglas de compatibilidad*, mayor es la insistencia en que las traducciones alternativas son descalificadas. Un efecto añadido de los inmensos esfuerzos de normalización es la *predictibilidad* (una probabilidad casi nula de que A-B sea reemplazado por A-C). Una red cuyas interfaces han sido todas estandarizadas transforma a todos los actores que la componen en dóciles agentes, y todos los intermediarios que circulan en estímulos que automáticamente evocan y a veces determinan ciertos tipos de respuesta. Las reglas de *coordinación* devienen después en normas que constriñen, que crean desvíos al mismo tiempo que los controlan: el pasado condiciona el futuro.

En una palabra, irreversibilización, tomada como la predeterminación de las traducciones, y como la imposibilidad de volver a la competencia entre traducciones, es sinónimo de normalización.

Cualquier conversación acerca de la normalización o la estandarización evoca la posibilidad de alguna cuantificación, aún cuando sea rudimentaria. Imponer normas para interfaces involucra identificar al menos una variable pertinente que toma uno o dos valores (es decir, bueno/malo; este pasa/este no pasa). Puede tal vez extenderse hasta involucrar una sintonía fina entre variables continuas múltiples, fijando límites superiores e inferiores para los umbrales.<sup>17</sup> Cuanto más

<sup>17</sup> No es difícil dar ejemplos de esas estandarizaciones, que ligan todas las categorías posibles de agrupaciones.

a) En el caso de agrupaciones mayoritariamente constituidas por humanos, se puede hablar –siguiendo a Riveline (1983) y Oury (1983)– de parámetros de gestión, para indicar la existencia de normas calculadas por medio de la regulación del comportamiento de ciertos agentes y describiendo sus relaciones: el comerciante debe contactar más de veinte clientes potenciales por mes para mantenerse en la red (definición de un umbral mínimo), el ingeniero de producción no debe tener más de X rechazos (umbral máximo), el salario de un periodista independiente (que mide la sujeción relativa) es proporcional al número de líneas escritas.

precisos y cuantificados son estos patrones (es decir, cuanto más precisa, conocida y acordada es la caracterización de los actores y de los intermediarios), más irreversibilidad genera la traducción exitosa. Una red que se irreversibiliza a sí misma es una red que se ha transformado en una red densa debido a todo tipo de normas y que, como resultado, se desliza a una metrología codificada y a un sistema de información.

No es difícil de matematizar el modelo de una red de este tipo, dado que el funcionamiento de cada elemento está vinculado cuantitativamente, por sus especificaciones, a los otros elementos de la red. Por ejemplo, se sabe cómo asociar el nivel de rendimiento de un objeto técnico (velocidad, memoria y potencia de un microprocesador), la categoría de usuario involucrada y el precio que se está dispuesto a pagar. La traducción puede estar dada en la forma de una tabla de correlaciones entre variables numéricas heterogéneas (si usted puede alcanzar los 10 MHz, entonces el departamento de *marketing* se abre y usted puede aspirar a precios superiores a \$5.000, etc.). Estas correlaciones pueden afectar todo o parte de una RTE, y los diferentes elementos que la constituyen. Una aproximación complementaria es la reducción tecnométrica (Saviotti y Metcalfe, 1984) de un objeto técnico a una configuración de parámetros que describen las principales realizaciones y sus diferentes usos, que pueden tomar una serie de valores relacionados entre sí. Tómese como ejemplo un intercambiador de calor cuyo índice de intercambio térmico radica entre X e Y, y que puede ser usado para dos usos no conectados como el secado del grano o la recuperación del calor en un crematorio. Esta aproximación

b) Normas entre no humanos (llamadas normas técnicas): el subsistema se desconecta a sí mismo si la intensidad de la corriente sobrepasa determinado valor (fusible); no se puede conectar algo si los empalmes se ajustan entre sí, o si la tensión está dentro del 5% respecto al óptimo.

c) Normas humanos/no-humanos: si el indicador está intermitente, el operador debe apoyarse sobre una palanca (que es del tipo: si la tensión sobrepasa determinado límite, entonces es necesario emprender tal acción).

d) Normas que organizan las relaciones entre textos científicos: inscripción del número de la revista en cada página de un artículo, estandarización de las referencias, de los diagramas.

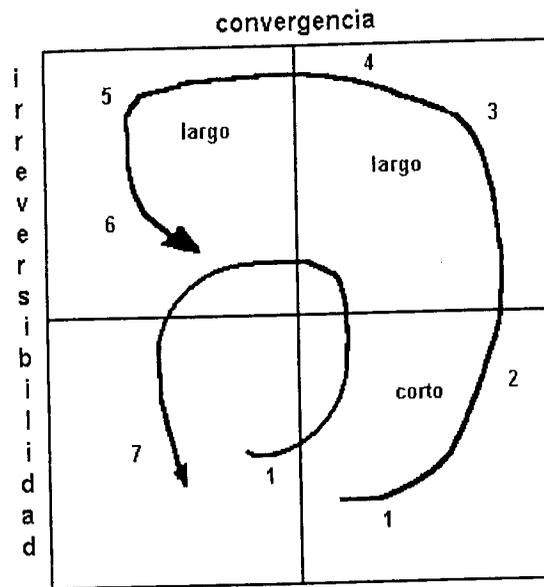
general puede ser utilizada para explorar las RTE. Lo mismo vale para el concepto de productividad de habilidades incorporadas y de su medición. Por ejemplo, es posible que la evolución de una red conduzca a que cambie el rendimiento de un objeto técnico (la memoria de un microprocesador, la velocidad de un intercambio de teléfono) del valor X1 al de X3, y la cantidad de habilidades incorporadas de Q1 a Q2. Uno puede dar una buena descripción de la dinámica de la red haciendo un mapa con unos pocos parámetros en torno a las traducciones que están organizadas y cristalizadas (Rabeharisoa, 1990).

Con la irreversibilización de la traducción y la normalización a la que conduce, entramos en el mundo familiar de los economistas (Akrich, 1989c). En efecto, se hace posible decir que sería caro desafiar una o varias traducciones que no solo resisten las traducciones competidoras sino que también restringen el número de posibles traducciones futuras. Esto significa que, en función de establecer otros vínculos y fijar nuevas traducciones, se debe deshacer primero aquellas que ya existen, y cambiar las equivalencias en la operación, lo cual a su turno significa movilizar y enrolar nuevas alianzas. La economía no se inicia con el problema de la asignación de recursos escasos, sino con su localización. Esta ausencia de linealidad y dependencia de los recorridos establecidos puede verse como una parte constitutiva de la dinámica de la economía.

#### SIGUIENDO LA DINÁMICA DE LAS REDES

Hemos visto que las RTE pueden devenir más cortas o más largas (incluyendo actores provenientes del polo científico); se irreversibilizan o reversibilizan; su convergencia se incrementa o decrece. La dinámica interna de una red puede ser referida a estas tres dimensiones, que constituyen coordenadas que nos permiten identificar las trayectorias seguidas por una red, y describirlas. Un diagrama simple de cuatro cuadrantes nos permite hacerlo. La descripción de esta dinámica depende del grado de información que se tiene acerca de la extensión de la red (véase la figura 2).

Figura 2



Cuanto más cuadrantes del diagrama recorre la trayectoria de la red, más frecuentes son los cambios en su longitud, y más profundas sus transformaciones. En verdad, cuando varían las traducciones, varían el contenido de los intermediarios que circulan, la identidad de los actores involucrados y la morfología de su relación. En este caso no solo son sujetos a vastos cambios impredecibles los objetos técnicos, los textos científicos, las habilidades incorporadas y el flujo de dinero, sino también la identidad de los actores. Cuando la red llega o se mantiene dentro del cuadrante fuerte irreversibilidad/fuerte convergencia, entonces las traducciones se entremezclan e inscriben en intermediarios estabilizados. Todos los actores, y los intermediarios a través de los cuales se definen a sí mismos y a los otros, mantienen la misma identidad.

En particular, la fuerte convergencia implica la coordinación

formalizada –es decir, la existencia de numerosas convenciones y procedimientos locales que crean esa extraña situación donde los seres humanos y los objetos técnicos evolucionan de manera predecible, como si actuaran por reglas a las que se adecuan. Los conceptos de “rutina” o “heurística” se aplican perfectamente a esta particular configuración (Nelson y Winter, 1977; Van der Belt y Rip, 1987). Nuestro marco analítico nos permite trazar un mapa del proceso evolutivo que a veces –pero esto no es obligatorio o no siempre así– ve que una red pasa del estado de flujo y de divergencia a uno de fuerte irreversibilización y estandarización. De tal modo, encontramos mecanismos que gobiernan el uso de un polo particular de la red insertados en un marco más general. Por ejemplo, si una red ha tenido éxito en alinear compradores (el polo del mercado) definidos por su demanda por un producto estandarizado, entonces es posible hablar de una curva de demanda agregada, analizable como la de cada uno de los consumidores, entre los cuales la red ha construido equivalencias perfectas. Si la red ha creado convergencia completa entre investigadores (polo científico), entonces el paradigma kuhniano que resulta puede ser descrito como una unidad, un programa de investigación único. En la misma vía, el ciclo de producto de un modelo estándar representa la trayectoria particular de una red en la cual el alineamiento entre compañías, técnicos y compradores es tan perfecto que la evolución del todo ocurre en fase, sin dificultades.

Pero el análisis en términos de RTE es infinitamente más tolerante que los modelos deterministas. Permite establecer un mapa de las convergencias más heterogéneas, tales como las que vinculan actores científicos y tecnológicos, en función de componer grupos coordinados en los cuales la ciencia y la tecnología interactúan de manera estrecha. Dentro de una sola red, nos permite distinguir entre subconjuntos que tienen diferente grado de convergencia. Finalmente, no impone ninguna forma *a priori* de evolución, la convergencia puede incrementarse o decrecer, y lo mismo vale para la irreversibilidad.

Lo antedicho muestra que las redes, a diferencia de las trayectorias, difícilmente pueden ser escindidas en marcos simples y fácilmente

cuantificables. Poner las cosas en números, el caso extremo de poner las cosas en palabras, es solo una forma de descripción entre otras que depende claramente del estado de la red. No tendría sentido tanto tratar de cuantificar a cualquier precio, o buscar reducir el comportamiento a variables o funciones, cuanto rechazar toda cuantificación por principio. La elección del método no obedece a ningún imperativo epistemológico: cae fuera del alcance de cualquier doctrina, dado que está enteramente dictado por el estado de la red. Si la red se “estandariza” a sí misma, entonces uno debe contar y hacer alguna matemática. Si es divergente y reversible, y se mantiene en ese cuadrante, entonces cualquier simplificación excesiva (y como consecuencia cualquier cuantificación) corre el riesgo de traicionar el estado de la red y su dinámica. ¡Sin duda en ese caso sería mejor solo contar la historia! En verdad en este caso cada actor es relativamente impredecible, debido a que cada traducción que intenta es constantemente deshecha. En este caso, el único método que nos permite explicar lo que pasa fielmente y de manera inteligible, es una descripción literaria que multiplica los puntos de vista, formando una narrativa polifónica distribuida entre tantas voces como actores y detalles existan.

Cuando una red es fuertemente convergente y fuertemente irreversibilizada, puede ser tratada como una caja negra, cuyo comportamiento puede ser conocido y predicho independientemente de su contenido. Puede entonces ser vinculada a uno o a muchos actores-red “externos”, con quienes intercambia intermediarios que atraviesan sus fronteras en todas las direcciones. Diremos que cada red se puntualiza a sí misma en otras redes, en cuya dinámica participa (Callon, 1987). Las relaciones entre un punto-red y la red que lo rodea pueden ser analizadas en términos de traducción, siendo sus operadores los intermediarios que circulan. La puntualización también puede ser aplicada a un sector industrial completo (la industria de los microprocesadores, una caja negra produciendo ciertas categorías de productos con características bien definidas y con categorías particulares de consumidores como insumo). Puede ser también aplicado a una disciplina científica, un sector tecnológico o a un mercado.

Este proceso de *puntualización*, que pliega una red entera al extremo de transformarla en el punto de otra red, que al mismo tiempo deviene más general y abarcador, es la base de lo que es llamado agrupamiento (o progresivo pasaje de lo micro a lo macro). De tal modo, definimos *agrupamiento* en términos del cercamiento de la red, por la constitución de cajas negras que se yuxtaponen unas a otras con otras cajas negras (es decir con otras redes puntualizadas) vinculándolas por medio de operaciones de traducción semejantes a las ya examinadas. Más aún, el punto-red puede a su turno actuar como un actor o un intermediario. De tal modo también tenemos desagregación a partir de la apertura de las cajas negras, el redesplicue renovado de las redes puntualizadas.

En estos casos, los grados de convergencia y de irreversibilidad decrecen de manera catastrófica (los mercados colapsan, los sectores industriales son dislocados, las especialidades científicas se desintegran, etc.). La dinámica general debería seguir esos pliegues y despliegues, y el lugar donde uno está situado es sin dudas un lugar central para la descripción de estas diferentes configuraciones.

#### Actores, intermediarios y redes

Tal como han sido definidas precedentemente, las RTE no son como las redes que se definen normalmente. Mantienen solo un parecido de familia lejano con las redes técnicas estudiadas por los economistas (redes de telecomunicación, redes ferroviarias, de alcantarillado, etc.), que pueden esencialmente ser reducidas a largas asociaciones de no-humanos que aquí o allí asocian a unos pocos humanos unos a otros. No son tampoco reductibles a las redes de actores descritas por los sociólogos que privilegian las interacciones entre humanos, en ausencia de todo soporte material.

Las redes tecno-económicas son una composición. Mezclan humanos y no-humanos, inscripciones de toda suerte, y dinero bajo todas sus formas. Su dinámica solo puede ser entendida por medio de las operaciones de traducción que inscriben las definiciones mutuas de los actores en los intermediarios que son puestos en circulación. El cono-

cimiento de estas redes involucra “leer” estas inscripciones. Aún más, la operación de traducción es en sí misma regulada por convenciones que son más o menos locales, y están sujetas a revisión.

Una de las ventajas de razonar en términos de las RTE es que queda claro que ninguna teoría del actor puede ser universal. El comportamiento de los actores (y más en general, su definición) cambia con el estado de la red, que es en sí misma el resultado de las acciones previas. Se debería poder caracterizar a los actores y sus perfiles de acción para cada configuración posible de una red, a lo largo de las tres dimensiones de la longitud, la convergencia y la irreversibilidad.

Cuanto menos convergente es una red, menos irreversible es, y más los actores que la componen pueden ser comprendidos en términos de conceptos tales como estrategias, objetivos variables y negociados, proyectos revisables y coaliciones cambiantes. En el otro extremo, en redes completamente convergentes e irreversibilizadas, los actores devienen en agentes que poseen objetivos precisos. Los estados de la red son conocidos en cada instante para cada punto. La información suministrada por la traducción inscrita en los intermediarios es al mismo tiempo perfecta (la red es conocida y predecible) y limitada (no va más allá de la red bajo consideración). Los riesgos morales y las selecciones adversas (para usar el lenguaje de los economistas), o las controversias y la pérdida de *interés* (en el repertorio de los sociólogos de la traducción) son altamente improbables. La paradoja es que en tales situaciones de información perfecta, los actores son incapaces de elegir, dado que son “actuados” por la red que los mantiene en el lugar; y están en condiciones de actuar deliberadamente cuando hay información imperfecta y asimétrica.<sup>18</sup> Hay muchas situaciones intermedias entre estos dos extremos –tales como, por ejemplo, la de los procedimientos de racionalidad limitada, o la de mutua anticipación en la teoría de los juegos (Thevenot, 1989). Esta

línea de análisis es valiosa para su desarrollo. Si se prueba que está bien fundada, abre un nuevo espacio para las ciencias sociales. Sugiere que no hay teoría o modelo del actor. La ontología del actor tiene una geometría variable, y es indisoluble de las redes que lo definen y que, con otros, contribuye a definir. La dimensión histórica deviene una parte necesaria del análisis.

Algunos dirán que hemos propuesto un método para describir las RTE, pero no un marco teórico que nos permita explicar su funcionamiento. Esta oposición común entre la descripción y la explicación es en gran medida puesta en duda por el procedimiento que proponemos. Cuanto más se incrementa el grado de convergencia y de irreversibilidad de la red, más las descripciones que dan los intermediarios en circulación constituyen explicaciones o incluso predicciones. Hablar de explicaciones presupone que es posible dar cuenta del estado de una red y su evolución a partir de un pequeño número de variables o conceptos. Esto involucra hacer una hipótesis muy definitiva sobre la forma de la red y la convergencia de sus traducciones. En una red fuertemente convergente e irreversible, los actores son perfectamente identificables, y su comportamiento es conocido y predecible. El todo trabaja y evoluciona de acuerdo a las regularidades que permiten a uno explicar las trayectorias seguidas, la división de recursos y los equilibrios alcanzados, sobre la base de unas pocas leyes simples y alguna información bien elegida. En una red divergente y reversible, la descripción debe incluir cada detalle; cada actor se esfuerza por traducir a los otros, y estas traducciones fluctúan sin jamás lograr estabilizarse. Quien buscase explicaciones, no entendería nada en términos de los mecanismos por los cuales es creada la irreversibilidad, y sería incapaz de decir algo significativo acerca del estado de la red y sus transformaciones. Aquellos que buscasen análisis cualitativos, monografías, y análisis estratégicos o prospectivos, en contra de la búsqueda de leyes y regularidades, simplemente pasarían por alto el hecho que las redes no están *en* los actores, sino que ellos las producen, y que estas solo se estabilizan en ciertos lugares y en ciertos momentos.

<sup>18</sup> Dupuy (1989) desarrolla un argumento similar. Esto puede ser formulado de manera diferente: la existencia del mercado neoclásico presupone en realidad la existencia de fuertes alineamientos (notablemente entre usuarios/clientes).

### *Agradecimientos*

Este texto es en gran parte el fruto de discusiones que he podido tener con todos mis colegas del CSI y, muy en particular, del diálogo que he mantenido desde hace varios años con Bruno Latour. Quisiera también agradecer por sus valiosos comentarios a L. Boltanski, G. Bowker, D. Fixari, A. Hatchuel, J. Law, C. Riveline, A. Rip, L. Star, y L. Thévenot.

## Cruzando fronteras: un diálogo entre tres formas de comprender el cambio tecnológico\*

Henrik Bruun / Janne Hukkinen

La ciencia y la tecnología pueden ser conceptualizadas de formas muy diferentes. De la misma manera, orientaciones teóricas que compiten entre sí, han identificado las causas del cambio científico o tecnológico en diferentes niveles o en diferentes dominios. Varios modelos analíticos o explicativos parecen referirse a asuntos relevantes acerca del cambio científico o tecnológico. Sin embargo, cuando se los compara entre sí, muchas veces están estructurados en constelaciones opuestas y excluyentes: de modo que solo una aproximación puede considerarse correcta. Por ejemplo, la sociología del conocimiento científico (SCC) y la teoría del actor-red (TAR) fueron presentadas como modelos que se excluyen mutuamente debido a que plantean aproximaciones contradictorias al mundo (Callon y Latour, 1992; Collins y Yearley, 1992a, 1992b; Bloor, 1999). En otros casos, las tradiciones de investigación se comunican pobremente, o no se comunican en absoluto. Tanto la economía como la sociología estudian la ciencia y la tecnología. Sin embargo, el nivel de interacción entre las dos disciplinas parece ser bajo, y la relación entre las aproximaciones sociológicas y económicas al tema es raramente discutida.<sup>1</sup>

\* Este artículo es una versión aumentada de "Crossing Boundaries: An Integrative Framework for Studying Technological Change", *Social Studies of Science*, 33, (1), 2003. Los autores agradecen a Hans Egneus, Alf Hornborg, Maria Höyssä, Petri Oaju, Mikko Rask, Emery Roe, Göran Sundqvist, Wolfgang Zierhofer, David Edge y Michael Lynch, por sus valiosos comentarios sobre los anteriores borradores de este artículo. Esta investigación fue financiada por la Academia de Finlandia (SculBio, 2000 proyecto nº 1172632) y Tekes National Technology Agency (Man Tra, proyecto nº 210089). Agradecemos a estas fundaciones por su apoyo.

<sup>1</sup> Por supuesto, existe un número de excepciones. Véase por ejemplo MacKenzie (1996), Van der Belt y Rip (1997), Lemola (2000a, 2000b) y Wade Hans (2001).

Es en verdad fascinante que discursos sobre un mismo tema puedan hoy, en un mundo de flujos de información globalizada, encontrarse tan separados. Las antologías económicas sobre el cambio tecnológico (por ejemplo: Freeman *et al.*, 1991; Foray y Freeman, 1993; Nelson, 1993; Lundvall, 1995; Archibugi y Michie, 1998) raramente contienen contribuciones del campo de los estudios de la ciencia y la tecnología (ESCYT), y viceversa (Bijker *et al.*, 1987; MacKenzie y Wajcman, 1985; Law, 1991; Bijker y Law, 1992). La negación es mutua. Hess (1997), en su comprensiva introducción a los ESCYT, ni siquiera menciona la existencia de aproximaciones económicas a la ciencia y la tecnología. Solo unos pocos autores –sobre todo Thomas P. Hughes (1983, y en este volumen), Michel Callon (1997, 1999) y Arie Rip– parecen haber cruzado la barrera epistémica (véase por ejemplo: Foray y Freeman, 1993; Blomqvist y Kaijser, 1998). Considerando la complejidad del cambio tecnológico –y con ello la probabilidad de que no existan explicaciones simples– sentimos que las aproximaciones exclusivistas constituyen una pobre estrategia.

En este artículo nos concentraremos en el estudio de la tecnología y del cambio tecnológico. Más particularmente, nos interesan las relaciones entre tres marcos teóricos relevantes para la comprensión del cambio tecnológico: la economía evolucionista (EE), la construcción social de la tecnología (CST) y la teoría del actor-red (TAR). Las tres aproximaciones (EE, CST y TAR) fueron elegidas para este estudio debido a que todas ellas parecen explicar aspectos importantes de la tecnología y sus cambios. En una etapa inicial, hemos considerado que las tres son complementarias de alguna manera. Sin embargo, la tarea de articular estos tres enfoques fue difícil y requirió tanto un profundo análisis de las perspectivas bajo estudio, como experimentos en la articulación de una síntesis. La pregunta que nos guía es si las tres perspectivas pueden ser reunidas para “dialogar” en un amplio marco teórico para la comprensión del cambio tecnológico. El resultado es afirmativo –presumiendo que el contexto y el rango de aplicabilidad de cada aproximación son conocidos.

El trabajo es presentado de la siguiente manera. En primer lugar

se introducen algunas de las ideas centrales de cada perspectiva. Luego se delinean los contornos de un marco comprensivo para el estudio del cambio tecnológico y se ilustra su uso mediante un caso empírico. En la conclusión, se identifican futuras áreas de estudio.

Nuestra decisión de discutir solamente tres marcos teóricos (EE, CST y TAR) fue útil para focalizar el análisis comparativo, pero la misma fue realizada a expensas de la inclusividad. Por supuesto, los estudios sobre tecnología son más amplios, y los trabajos de un número importante de autores tuvieron que ser excluidos. Además, se ha elegido presentar cada acercamiento como un tipo ideal, o prototipo, es decir, más homogéneo de lo que en realidad es. Esto ha facilitado la comparación y el análisis metodológico, pero viola su realidad difusa y heterogénea. Se es bien consciente de estas restricciones, pero se cree que la comparación metodológica –más que empírica– legitima los medios utilizados. El marco comparativo puede asistir a los investigadores del cambio tecnológico al escoger sus opciones analíticas. Asimismo, el marco teórico indicará los defectos de las versiones prototípicas de las tres versiones y, de este modo, ayudará a articular áreas para futuras lecturas o investigaciones.

#### ECONOMÍA EVOLUCIONISTA

Parece improbable que el cambio tecnológico pueda ser explicado sin considerar la dimensión económica del proceso. Desafortunadamente, muchos identifican la economía con el paradigma neoclásico, que modeliza los sistemas económicos regidos exclusivamente por la oferta y la demanda. La economía neoclásica posee un conjunto de presupuestos centrales, que resultan problemáticos para explicar el cambio tecnológico: a) asume un comportamiento racional y maximizador por parte de agentes que poseen funciones de preferencia dadas y estables; b) su análisis se concentra en la búsqueda de estados de equilibrio en el mercado, o en el movimiento hacia ellos; y c) está marcada por la ausencia de problemas crónicos de información (véase, por ejemplo,

Mulhearn y Vane, 1999). Debido a que se encuentra construida sobre metáforas mecanicistas –tomadas de la física de la última parte del siglo XIX– la teoría económica neoclásica modeliza los mercados como sistemas en equilibrio. Su principal interés es comprender cómo los mercados se ajustan a las perturbaciones, es decir, cómo reestablecen el equilibrio. De acuerdo con los críticos (como por ejemplo: Hodgson, 1999), esta aproximación no es capaz de explicar el carácter acumulativo e irreversible de los procesos en el mundo real.

Esta sección considera una alternativa a la economía neoclásica, denominada “institucional” o “evolucionista”. Los dos rótulos se superponen parcialmente, y algunos incluso afirman que se refieren a la misma cosa. Usamos el último término, economía evolucionista (EE), debido a que es el más utilizado en el contexto de la investigación del cambio tecnológico. Lo utilizamos para referirnos a aproximaciones que enfatizan el carácter acumulativo e irreversible del proceso económico, el papel de las instituciones y las organizaciones en el ritmo y la dirección del cambio económico, la naturaleza de la acción económica, la falta de información perfecta en la toma de decisiones, los habituales cambios en las funciones preferenciales, y la posibilidad de una renovación genuina a través de varios tipos de procesos de búsqueda (para una revisión más comprensiva de la EE, véase Fagerberg, 2003).

Tanto los teóricos neoclásicos como los economistas evolucionistas le otorgan al cambio tecnológico un papel central en la dinámica de las economías (Freeman, 1994). Sin embargo, mientras que los primeros tienden a explicar el cambio tecnológico como un resultado de las decisiones que toman las firmas en su búsqueda por maximizar beneficios en base a la información del mercado, los economistas evolucionistas han prestado más atención al marco institucional de la toma de decisiones. Este cambio de foco es verdaderamente profundo, e involucra, entre otras cosas, una nueva teoría de la agencia económica. Richard Nelson y Sidney Winter (1974 y 1977) observaron que las compañías habitualmente toman decisiones que no parecen ser económicamente racionales. Más bien tienden a hacer uso de la heurística existente para la toma de decisiones, tal como los procedimientos estándares de opera-

ción y las rutinas de inversión. Nelson y Winter, siguiendo la noción de racionalidad circunscripta de Herbert Simon (véase March, 1999), han afirmado que los agentes del mundo real no poseen información perfecta sobre los mercados presentes y futuros. De hecho, su capacidad de procesar información se encuentra severamente limitada. De este modo, los agentes económicos tienden a utilizar el conocimiento y las habilidades incorporadas en las rutinas de las compañías. De acuerdo con Nelson y Winter, este conocimiento es muchas veces tácito y difícil de codificar. Como consecuencia, el conocimiento y las habilidades residen tanto en las prácticas compartidas como en los individuos. En este punto los economistas evolucionistas se acercan notablemente a los escritos de los autores de los estudios sociales de la ciencia y la tecnología tales como Harry Collins (Collins, 1990; Collins y Kusch, 1999) y Karin-Knorr Cetina (Knorr-Cetina, 1999, 2001).

Entonces: ¿cómo entienden los economistas evolucionistas el cambio tecnológico? Basándose en el trabajo del economista austriaco Joseph Schumpeter (1883-1950) (Schumpeter, 1934 [1912], 1942), los economistas evolucionistas observan al conocimiento como el componente clave en la dinámica económica. Las innovaciones –que son definidas como nuevos productos, procesos, servicios o formas organizacionales que alcanzan el mercado o son aplicadas de otra forma– generan variaciones en la economía, y con ello generan precondiciones para el crecimiento. Schumpeter reconocía el efecto disruptivo de las innovaciones radicales sobre los mercados, pero afirmaba que, además de alterar al mercado, sus efectos lo reformulaban. Las tecnologías nuevas y exitosas atraen imitadores y por ese medio crean los presupuestos para una nueva actividad económica que de otra forma no hubiera ocurrido. Esto también implica que la ventaja competitiva de los innovadores solo es temporaria, debido a que a medida que la nueva tecnología se difunde –tanto sea por adquisición o imitación– los precios bajan. Por efecto de la disminución de oportunidades económicas, algunas firmas son motivadas a explorar nuevas tecnologías, con lo cual se comienza un nuevo ciclo de innovación y difusión (Freeman, 1994; Rosenberg, 1982).

Sin embargo, las innovaciones son obstaculizadas por las rigideces del mercado y de la sociedad en su conjunto. Existe un número de factores que afectan el éxito de una innovación, incluyendo: el “estado del arte” tecnológico, las demandas del mercado, las regulaciones legales, las normas sociales y las configuraciones políticas. Por consiguiente, las innovaciones exitosas requieren un amplio espectro de conocimientos, alguno de los cuales pueden ser solo obtenidos por la experiencia. En la EE, los procesos de innovación están enmarcados en términos de conocimiento y aprendizaje (Freeman, 1994, Lundvall y Johnson, 1994, Lundvall, 1995; Rosenberg, 1982). En los escritos de Schumpeter, especialmente en sus primeros trabajos, el foco tiende a estar puesto en el aprendizaje individual. Sin embargo, en el marco institucional de la EE, el aprendizaje es visto como un fenómeno organizacional. La producción y difusión de nuevas tecnologías requiere que las organizaciones desarrollen o aprendan nuevas maneras de hacer cosas, nuevas rutinas para la acción e interacción. Uno de los principales impactos de la EE parece encontrarse en el interés académico que ha generado sobre el papel que juega el conocimiento en las organizaciones –un interés que ha sido difundido bastante más allá de los límites de la propia EE (Fagerberg, 2003).

Se le ha criticado a Schumpeter un exceso de atención sobre los emprendedores individuales y las innovaciones radicales. En la actualidad, la perspectiva general considera que las innovaciones incrementales tienen una importancia equivalente a la hora de explicar la dinámica de las economías. Por lo tanto, se considera que en su mayor parte, el cambio tecnológico es gradual y acumulativo (Freeman, 1994; Rosenberg, 1982). Uno de los autores más citados en este contexto es Giovanni Dosi (1982a) quien, en un artículo fundamental, introdujo los términos “paradigma tecnológico” y “trayectoria tecnológica”. Influenciado por el análisis del desarrollo científico de Thomas Kuhn (1996 [1962]), Dosi argumentó que el cambio tecnológico es desigual debido a que las innovaciones tienden a agruparse en torno a un conjunto restringido de problemas y soluciones. Para Dosi los *paradigmas tecnológicos* restringen la búsqueda de soluciones alternativas de

los ingenieros y sus organizaciones. Un paradigma tecnológico es un “modelo” y un “patrón” de solución de problemas tecnológicos *seleccionados* basados en principios *seleccionados* derivados de las ciencias naturales y en materiales tecnológicos *seleccionados* (Dosi, 1982a, p. 152). A partir de una analogía con el análisis de Kuhn, Dosi sostiene que los paradigmas tecnológicos definen los problemas genéricos para los cuales se buscan las soluciones técnicas. De acuerdo con Dosi, tales paradigmas dan al desarrollo técnico ulterior una trayectoria específica que de otro modo no hubieran tenido.

Christopher Freeman y sus colegas propusieron una alternativa a partir de las nociones de sistemas tecnológicos y paradigmas tecnológicos (Perez, 1983; Freeman y Perez, 1988; Freeman, 1995). Estos análisis afirman que los paradigmas tecnológicos se conforman en un proceso a través del cual las innovaciones son interdependientes y se encuentran asociadas en *sistemas tecnológicos*. Para estos autores, los sistemas tecnológicos difieren en su impacto económico. Algunas tecnologías revolucionarias, tales como el proceso de elaboración de cristal plano (*float-glass*), poseen aplicaciones limitadas, mientras que otros se vuelven altamente genéricos. El alcance de un sistema tecnológico depende, sobre todo, de la extensión con la cual “nuevos mercados, con un amplio y rápido potencial de crecimiento” pueden ser creados sobre la base de sus productos. De acuerdo con Freeman, algunos de los factores que afectan un desarrollo de este tipo son: la capacidad de la nueva tecnología para reducir los costos de una larga cantidad de productos y servicios, su aceptabilidad social y política, y, por supuesto, la extensión con la cual sus características técnicas permiten un amplio alcance de aplicaciones (Freeman, 1995, p. 15). Desde este punto de vista, existe un alto grado de interdependencia entre el desarrollo de las modernas economías capitalistas, por un lado, y la emergencia de sistemas tecnológicos genéricos por la otra. Los sistemas tecnológicos muy genéricos –tales como la energía eléctrica después de la Segunda Guerra Mundial, y la tecnologías informáticas y la biotecnología en la actualidad– son considerados nuevos *paradigmas tecno-económicos* (Pérez, 1983) en los cuales el desarrollo tecnológico

y económico van de la mano (véase también Roobeek, 1995, p. 63). Obviamente, la tecnología puede ser genérica a distintos niveles. La computadora personal, por ejemplo, es genérica como un dispositivo de procesamiento de información, pero soluciones genéricas también pueden encontrarse en el nivel más detallado del transistor.

En la última parte de la década de 1980, la teoría de la EE incorporó la noción de "sistemas de innovación". De acuerdo con Charles Edquist y Bengt-Ake Lundvall, estos sistemas incluyen "las instituciones y estructuras económicas que afectan la dirección y la tasa de cambio tecnológico en la sociedad" (Edquist y Lundvall, 1993, p. 267).<sup>2</sup> Los componentes de un sistema de innovación pueden ser de diferente tipo, por ejemplo organizaciones, leyes, tradiciones de colaboración, actitudes, sistemas financieros e infraestructura. El objetivo de la teoría de los sistemas de innovación es explicar por qué la dirección y la tasa del cambio tecnológico difieren entre regiones o países. En el espíritu de la EE, las regiones o países son percibidos como ambientes que seleccionan la innovación. La novedad, sin embargo, es que la metáfora evolucionista ha sido reemplazada por una metáfora de sistemas. En contraste a la metáfora evolucionista, la cual toma a la acción de los innovadores como un punto de partida, la metáfora de sistemas enfatiza el grado con que los innovadores dependen de grandes sistemas.

Desde la perspectiva de los estudios de la tecnología, la teoría de sistemas de innovación se encuentra demasiado centrada en la economía y muy poco sobre la tecnología. El marco nacional o regional de análisis, tan típico de los estudios de innovación, puede tener sentido para comprender el desempeño económico, pero posee severas limitaciones

<sup>2</sup> El uso de esta terminología es complicado debido a que "sistema nacional de innovación" no es solo un concepto analítico, sino también un concepto que refiere políticas públicas. En contextos políticos, el papel del análisis en términos del sistema de innovación es "proveer un marco para los gobiernos para implementar políticas que influyan en el proceso de innovación" (Ormala, 1999, p. 118). De esta forma, existe una tendencia a enfatizar el papel de las organizaciones e instituciones que controlan las autoridades nacionales. Habitualmente, el concepto de "sistema de innovación" como una herramienta analítica se convierte en una meta a lograr, adquiriendo un sesgo normativo -generalmente con criterios económicos de éxito como valores subyacentes.

para explicar el cambio tecnológico. Para los estudiosos de la tecnología, la teoría de los sistemas de innovación provee pistas sobre los marcos de innovación regional y nacional. Sin embargo, si lo que se ambiciona es describir la naturaleza sistemática del cambio tecnológico se necesitan otros enfoques. Los conceptos discutidos hasta el momento, de paradigma tecnológico, sistema tecnológico y paradigma tecno-económico son nociones clave en la EE para describir las pautas de cambio tecnológico. Estos representan las continuidades y pueden ser contrastados con el concepto de innovación radical. Este último es un término que significa variación y novedad, e indica que las trayectorias tecnológicas pueden ser quebradas y que la "destrucción creadora" posee, de hecho, gran importancia para la vitalidad de la economía. De este modo, la EE ofrece una particular mezcla de determinismo y no-determinismo.

La economía evolucionista ha recibido críticas tanto de parte de los economistas como de los sociólogos (Lemola, 2000a). Los primeros afirman que los conceptos y las hipótesis de la EE son difíciles de operacionalizar matemáticamente, y que por lo tanto no alcanzan para transformar a la economía en una ciencia formal. Los científicos sociales, por otro lado, han acusado a los economistas evolucionistas de positivismo, y por utilizar conceptos pobremente definidos. Hay excepciones, sin embargo. Por ejemplo, Van der Belt y Rip (1997, p. 135) reconocen la "dimensión sociológica" de la EE, y sugieren que el interés de la aproximación "también para otros estudiosos de la tecnología". Desde nuestro punto de vista, la mayor limitación de la EE concierne al problema ya mencionado de la relación entre los innovadores y el así llamado ambiente de selección. Los intentos por tratar con este problema conforme una concepción sistémica reemplazan "selección" con términos tales como "acoplamiento" (*coupling*), "colaboración" y "aprendizaje". Sin embargo, tienden a usar estos términos en un nivel bastante agregado, sin proveer un análisis detallado. Las listas de circunstancias que son necesarias para la formación de un paradigma o un sistema genérico no explican por qué emerge un sistema particular. De tal modo, aún reconociendo su importancia, el marco conceptual y las aproximaciones teóricas de la EE deben suplementarse con otros conceptos que permitan

comprender por qué, en casos particulares, los agentes se embarcan en rutas de cambio tecnológico más o menos pautadas.

### CONSTRUCCIÓN SOCIAL DE LA TECNOLOGÍA

Una de las cosas sobre las que la EE ofrece una pobre explicación es la razón por la cual la tecnología cambia del modo en que lo hace. Es decir: ¿por qué una solución técnica deviene más paradigmática que otra?, ¿por qué no otra? La EE es más adecuada para describir los resultados del cambio –los paradigmas tecnológicos, las trayectorias tecnológicas, los sistemas tecno-económicos– que para analizar los procesos que se encuentran detrás de estos resultados. Por ejemplo, los economistas evolucionistas están más interesados en discutir los resultados de las relaciones usuario-productor, los acuerdos de colaboración y las políticas de gobierno que en estudiar en primer lugar cómo y por qué fueron creadas estas instituciones. Para comprender mejor estos procesos, es necesario regresar al territorio de los estudios sociales de la ciencia y la tecnología. Más particularmente, consideraremos cómo la aproximación constructivista constituye un complemento para la economía evolucionista a la hora de explicar el cambio tecnológico. También se puntualizarán algunos de los límites del constructivismo social.

La expresión constructivismo social refiere a un conjunto heterogéneo de aproximaciones en las ciencias sociales. Aquí discutiremos el enfoque que ha sido llamado “construcción social de la tecnología” (CST). La CST fue desarrollada en los primeros años de la década de 1980 por Trevor Pinch y Wiebe Bijker (Pinch y Bijker, 1984, y en este volumen; Pinch, 1996). Pinch y Bijker modelaron su aproximación sobre la base de la sociología del conocimiento científico (SCC).<sup>3</sup> La SCC

<sup>3</sup> La sociología del conocimiento científico fue iniciada en la década de 1970 por investigadores británicos, incluyendo a Michael Mulkay, Harry Collins, Barry Barnes y David Bloor (véase: Knorr-Cetina y Mulkay, 1983; Mulkay, 1979a; Barnes, Bloor y Henry, 1996; Hess, 1997). El llamado “programa fuerte” de David Bloor (véase Bloor, 1991 [1976]) fue de particular importancia para la metodología de la nueva sociología de la ciencia.

criticaba la vieja sociología de la ciencia institucional –que hacía eje en la distinción entre el contexto social e institucional de la producción científica– por evitar abrir la “caja negra” de la ciencia, es decir, por no haber transformado los contenidos de la ciencia en objeto de análisis de la sociología. De esta forma, se les otorgaba a los científicos naturales y a los filósofos el monopolio de la explicación sobre el éxito o el fracaso de los experimentos, pruebas, categorizaciones, conceptos, teorías, métodos, etcétera.

Pinch y Bijker desarrollaron un abordaje análogo para entender la tecnología, la aproximación CST. Desde entonces la aproximación CST ha sido utilizada en un conjunto de estudios (véase, por ejemplo: Elzen, 1986; Vergragt, 1988; Rosen, 1993; Bijker y Law, 1992; Alder, 1998; Collins y Pinch, 1998).

La aproximación CST asume que el cambio tecnológico –incluso al nivel de las soluciones de los ingenieros y del diseño– se encuentra determinado por procesos sociales más que por cualquier “lógica tecnológica” interna. Quienes proponen este enfoque argumentan que los criterios de funcionalidad tecnológica poseen un origen social. De tal modo, la aproximación CST cuestiona las explicaciones “ingenuas” del éxito de los artefactos técnicos; es decir, a aquellas que afirman que la adopción de los nuevos artefactos técnicos se debe a que *funcionan mejor* (Pinch y Bijker, 1984, p. 406; Bijker, 1995, pp. 13-15). Desde la perspectiva CST, tales explicaciones requieren preguntas tales como: ¿por qué se piensa que un nuevo artefacto o material funciona mejor?, ¿cuáles son los criterios por los cuales la utilización social determina funcionamiento? Una respuesta convencional sería que el funcionamiento es determinado por la relación entre las propiedades técnicas y el propósito del artefacto (aquello para lo cual debería ser utilizado). Esto presupone que su propósito es conocido de antemano. Sin embargo, es precisamente el propósito de los artefactos lo que se disputa en las controversias tecnológicas. Los propósitos son determinados socialmente y no en un espacio técnico asocial. El estudio más conocido desde la perspectiva CST es probablemente aquel de Pinch y Bijker, sobre el desarrollo de la bicicleta *safety* (Pinch y Bijker, en este

volumen; Bijker, 1995).<sup>\*</sup> De acuerdo con estos dos autores, el cambio de las máquinas que tenían la rueda delantera muy alta (siglo XIX) a las de ruedas bajas modernas no siguió ninguna trayectoria natural de mejora de diseño. El proceso fue determinado por las necesidades expresadas de grupos de usuarios influyentes –jóvenes que querían viajar rápido, y mujeres y ancianos que priorizaban la seguridad– y por la habilidad de los innovadores para combinar estos dos criterios de funcionamiento en un único artefacto. Este proceso poseía al comienzo un final abierto, involucrando diversos diseños que adquirieron un éxito relativo. Pinch y Bijker argumentan que nada era autoevidente respecto del resultado final, es decir, el carácter paradigmático que adquirió la bicicleta *safety*.

Sin embargo la perspectiva CST representa algo más que una crítica a las explicaciones comunes de por qué ciertas tecnologías son más exitosas que otras. También constituye una *teoría* acerca del cambio tecnológico. La teoría asume que los artefactos pueden ser interpretados de maneras muy diferentes, es decir, poseen *flexibilidad interpretativa* (Pinch y Bijker, 1984; Bijker, 1995). La interpretación de los artefactos depende del tipo de problemas para los cuales el artefacto en cuestión es considerado una solución. Diferentes grupos de personas definen problemas relevantes de formas diferentes. Estas diferencias devienen particularmente visibles en las controversias tecnológicas. Si una de estas interpretaciones, o una combinación de ellas, se convierte en dominante –o tal vez, incluso, paradigmática– esto necesita ser explicado. La *clausura* se refiere al alineamiento de las interpretaciones, y consecuentemente al debilitamiento de la controversia.<sup>4</sup> El analista debe, en otras palabras, distinguir entre la flexibilidad interpretativa como una noción teórica y la clausura práctica del diseño de los artefactos. Teóricamente, todos los artefactos son objeto de flexibilidad interpretativa y siempre son posibles nuevas interpretaciones. En la práctica, sin embargo, el fenómeno de la clausura implica que algunas

<sup>\*</sup> La bicicleta modelo *safety* es la bicicleta tal como la conocemos hoy, con ruedas de tamaño mediano y de igual diámetro, y con tracción trasera, corona y piñón. [N. del T.]

<sup>4</sup> El concepto de “clausura” fue adoptado de los estudios sobre controversias científicas de Harry Collins (véase Collins, 1981).

interpretaciones particulares se transforman en dominantes, y que así se crean y estabilizan las trayectorias de los artefactos. La analogía con las nociones de paradigma tecnológico y trayectoria tecnológica –discutidas en la última sección de este artículo– debería ser obvia. El concepto de *clausura* es un complemento significativo de estos términos. Permite observar los procesos a través de los cuales se crean los paradigmas tecnológicos y las trayectorias. Creemos que este concepto provee un remedio para algunas de las debilidades de la EE.

En su análisis de la controversia tecnológica y la clausura, la perspectiva de la CST parte de la idea de que las interpretaciones se encuentran situadas social y culturalmente. Los sujetos que participan del mismo contexto tienden a poseer orientaciones similares respecto del artefacto en cuestión (por ejemplo, un tipo particular de productores o consumidores). Bijker ha utilizado el término *marco tecnológico* (*technological frame*) para describir cómo los grupos sociales interpretan los artefactos. Un marco tecnológico “implica todos los elementos que influyen en la interacción dentro de los grupos sociales relevantes y conducen a la atribución de sentido de los artefactos técnicos” (Bijker, 1995, p. 123). Tales elementos son, por ejemplo, “objetivos, problemas clave, estrategias de resolución de problemas, requerimientos que deben cumplirse, teorías habituales, conocimiento tácito, procedimientos de testeo, y métodos y criterios de diseño” (Bijker, 1995, p. 123). Bijker argumenta que la naturaleza del cambio tecnológico depende de la configuración de los marcos tecnológicos en torno al artefacto, el proceso material o técnico en cuestión. Su hipótesis es que el carácter del cambio es diferente si la configuración socio-técnica involucra *uno* o *varios* marcos tecnológicos, o *ninguno*.

Por ejemplo, si no hay un marco tecnológico dominante en la construcción de un nuevo artefacto, entonces se supone que los actores identificarán problemas y sugerirán soluciones novedosas. Por lo tanto, existiría una probabilidad relativamente más alta de aparición de invenciones radicales por fuera de los marcos tecnológicos vigentes.

Si existe un marco tecnológico claramente dominante, las invenciones tenderán a ser más convencionales, siguiendo el patrón de pen-

samiento vigente. Los insumos para los cambios más radicales surgirán de personas con una baja inclusión en el marco tecnológico dominante (personas más o menos al margen de ese marco tecnológico).

Finalmente, en las configuraciones en las que existen dos o más marcos tecnológicos igualmente fuertes, el cambio tecnológico dependerá de criterios externos a todos los marcos tecnológicos.

Tal como se indicó antes, se considera que los estudios desde la perspectiva CST constituyen un importante suplemento a la EE, proveen una terminología e hipótesis acerca de la clausura, que puede pensarse como una explicación alternativa a la emergencia de un paradigma tecnológico a un macro o un micro nivel.

¿Termina aquí la historia? Existe una importante debilidad en la perspectiva CST que motiva a buscar por otra aproximación suplementaria. El valor que añade la perspectiva CST es la extensión de nuestros marcos explicativos a partir de las nociones de controversia y clausura. Consecuentemente, su contribución a la explicación del cambio tecnológico depende de los análisis de los mecanismos de estos procesos. Desafortunadamente, a esta aproximación le faltan herramientas para explicar por qué se resuelve una controversia entre diferentes grupos sociales relevantes. Por ejemplo, la explicación más utilizada para explicar la clausura es la redefinición del problema que se supone va a resolver el artefacto –es decir, que se produce una transformación del criterio de funcionamiento– tal como la redefinición del problema de la vibración como un problema de velocidad allanó el camino para la aceptación de la bicicleta de neumáticos con cámara (Bijker, 1995, p. 85). Raramente se discuten otros mecanismos de clausura y, en el caso de la redefinición, es necesario preguntarse si el cambio en los criterios de funcionamiento aceptados debería considerarse la explicación o el fenómeno que necesita ser explicado. Creemos que este problema se debe a que la perspectiva CST posee una idea deficiente del proceso de interacción social en las controversias tecnológicas, en particular, y más generalmente, en el desarrollo tecnológico. Dado que es aún menos probable encontrar esta conceptualización en la EE, es necesario dirigirse a la tercera aproximación, la teoría del actor-red.

## LA TEORÍA DEL ACTOR-RED

La teoría del actor-red (TAR) tiene sus orígenes en los estudios de la ciencia, pero luego se difundió a muchos otros campos (Law y Hassard, 1999). La aproximación fue desarrollada en los escritos de Michel Callon, Bruno Latour y John Law en la década de 1980 (Callon y Latour, 1981). Han existido algunos debates notables entre los proponentes de la TAR y la SCC (Callon y Latour, 1992; Collins y Yearley, 1992a; 1992b; De Vries, 1995; Bloor, 1999). Una fuente de controversias fue la aparente adscripción de agencia que la TAR le otorga a las entidades no-humanas (e incluso no-vivientes). Sin embargo, la TAR ha sido capaz de atraer intereses diversos y es una aproximación establecida en el campo de los estudios de la ciencia y la tecnología (Lee y Brown, 1994; Lenoir, 1994; De Vries, 1995; Gingras, 1995; Miettinen, 1998; Elam, 1999; Latour, 1999; Law, 1999; Leskinen, 2000; Ylikoski, 2000).

Creemos que la TAR puede ofrecer ideas útiles para superar las limitaciones de la perspectiva CST que se mencionaron previamente. Sin embargo, esto requiere leer el abordaje TAR de forma particular, omitiendo algunos de sus fundamentos filosóficos y metodológicos. Las nociones de acción y la agencia son clave para la interpretación de la TAR aquí propuesta. Para muchos críticos de este enfoque, y también tal vez para algunos de sus defensores, el punto polémico de la TAR es la afirmación de que no existen diferencias entre las formas de agencia humana y no-humana; que los animales, las máquinas e incluso los electrones pueden ser “actores” en el mismo sentido que lo son los humanos. Michel Callon y Bruno Latour (1981) argumentaron lo contrario, señalando que hay muchas diferencias entre, por ejemplo, las acciones de los humanos y las de los primates. Es evidente que estas distinciones también son tomadas seriamente en los métodos de investigación. Los humanos y los no-humanos son estudiados de modos diferentes: los humanos son entrevistados mientras que los no-humanos son investigados gracias a la mediación de los humanos (por ejemplo, mediante informes de investigación). Esto es, a veces, presentado como una contradicción en el marco teórico de la TAR (Ylikoski, 2000, p. 306). Creemos, sin embargo,

que estas críticas se basan en cierta falta de comprensión acerca de lo que la TAR es, o al menos, lo que *podría ser*.

No es tan interesante la extensión de las capacidades intencionales que la TAR le otorga a los no-humanos (o a las cosas no-vivientes), como la modificación de la noción humanista tradicional de la acción. Como otras filosofías de la acción, la TAR se pregunta: "¿qué constituye la acción?". Pero, en vez de observar la "intención" como el único ingrediente significativo de la acción (como a menudo se realiza en la explicación de la acción social e individual en las ciencias sociales), los autores de la TAR sugieren que la agencia se ocupa de conectar cosas. La intención sigue siendo importante, pero como ha sido señalado por los filósofos tradicionales (Moya, 1990), las intenciones como tales no conducen a nada. Actuar es intervenir en el mundo de acuerdo con alguna intención, convertirse en un principio local a partir del cual el mundo se despliega. De tal modo, Callon y Latour han definido a un actor como "cualquier elemento que reorganiza el espacio alrededor suyo, hace que otros elementos dependan de él y traduce su voluntad en un lenguaje propio" (Callon y Latour, 1981, p. 286). ¿Qué se requiere para flexionar el espacio alrededor de uno mismo de acuerdo a este sentido? La respuesta de la TAR, según nuestra interpretación, es que las intenciones necesitan combinarse exitosamente con un conjunto completo de objetos y/o de procesos.

En otras palabras, no se debería considerar la acción como la simple implementación de una intención, sino como la construcción dirigida de relaciones en el mundo real. Dichas relaciones forman una red, es decir, series de interconexiones que constituyen la acción. La mejor forma de entender el término *actor-red* es pensarlo como la red que constituye la agencia (la capacidad de actuar) de algún actor, más que como una red que consiste en actores. Esto debería orientar nuestra atención hacia la construcción de actores-redes. Una actividad clave es la "traducción":

[...] por traducción entendemos todas las negociaciones, intrigas, cálculos, actos de persuasión y de violencia, gracias a los cuales un actor o

fuerza adquiere autoridad –o logra que tal autoridad le sea conferida– para hablar o actuar en representación de otro actor o fuerza (Callon y Latour, 1981, p. 279).

El abordaje actor-red enfatiza que la acción no depende de un único factor, sino de una cadena de factores en la que varía la fuerza de los eslabones. Esto implica que la agencia debería considerarse más como una cuestión de grados que como una propiedad. Los actores pueden fortalecerse (en algún curso particular de acción) en la medida que (desde el punto de vista de la acción en cuestión) ganan credibilidad como portavoces de categorías de personas estratégicamente importantes, organizaciones, objetos, y procesos. Y al contrario, se debilitan cuando la representatividad establecida degenera, por ejemplo como resultado del cuestionamiento de un actor competente.

De tal modo, el poder de los actores, o la cuestión de la generación de poder (*empowerment*), es un tema central de la TAR. Esto ha recibido algunos comentarios negativos, y se ha acusado a la TAR de "maquiavelismo" (Shapin, 1988, p. 534; Miettinen, 1998, p. 30). De acuerdo con estas críticas, en la descripción de los procesos sociales este enfoque enfatiza demasiado las consideraciones políticas y estratégicas. Su costado positivo, sin embargo, es que al reconocer el papel de la generación de poder (*empowerment*) para la acción, la TAR revela cómo opera el poder en dimensiones donde se lo consideraba ausente. Como dice Haraway, la agencia puede estar "viviendo en la barriga del monstruo" (Haraway, 1991, p. 4).<sup>\*</sup> Esta concepción productiva del poder parece relacionarse con las nociones correspondientes de, por ejemplo, Michel Foucault (1975, 1976) y Gilles Deleuze (1962).

¿Cómo piensa la TAR la tecnología y al cambio tecnológico? Muchos estudios sobre innovación generados desde este enfoque (véase, por ejemplo: Latour, 1993; Callon, 1997; Callon, 1997, y Law y Callon, 1997) proponen cómo estudiar el proceso a través del cual se desarrolla un nuevo artefacto. Desde esta perspectiva, no puede distinguirse

\* En el original en inglés: "Located in the belly of the monster". [N. del T.]

el artefacto que se desarrolla de los intentos de los participantes por traducir el mundo de acuerdo a sus intenciones. El artefacto es parte de lo que se traduce: se le adscribe una identidad particular y una forma particular de funcionamiento. El microondas puede servir como ejemplo. Los constructores de estos hornos originalmente intentaron publicitarlo como una tecnología avanzada comparable con equipos de alta fidelidad, televisores y videocaseteras. Sin embargo, no pudieron atraer el interés de los hombres (el público predominante en el caso de la tecnología avanzada) presumiblemente como resultado de la falta de compromiso masculino con las actividades de cocina. Los microondas se convirtieron en un éxito solo después de la resignificación del artefacto como un artículo de cocina, dirigido hacia amas de casa, y localizable en el departamento de artículos de cocina de las casas de venta, en lugar de la sección de artículos electrónicos (Cockburn y Ormrod, 1993).

Si los tecnólogos tienen éxito en cerrar una interpretación particular del artefacto o del paradigma –es decir, si tienen éxito en silenciar las voces que cuestionan esta interpretación– el artefacto está “enrolado”. En este sentido, es muy similar a la perspectiva CST, que habla sobre controversia y clausura. Sin embargo, la perspectiva TAR difiere respecto a la CST al menos en dos aspectos. Primero, la TAR no explica la acción de los actores por referencia a su contexto social; y, segundo, argumenta que la apertura de la situación de la tecnología no finaliza con el enrolamiento.

La primera distinción transforma a la TAR en un análisis bastante diferente de la EE y la CST. Es decir, no explica la acción humana en relación a categorías colectivas, tales como las de “paradigma tecnológico” o “marco tecnológico”. En cambio se ufana de no poseer ninguna explicación general de la acción: “La TAR no está basada en una teoría estable del actor; más bien asume la *indeterminación radical* del actor” (Callon, 1999, p. 181). Esto significa que no constituye una teoría causal de la acción: solo realiza afirmaciones acerca de cómo se constituye la acción. ¿Por qué los autores de la TAR dejan de lado las teorías de la acción social e institucional, favorecidas por los EE y la CST? Según

argumentan, los intereses, las instituciones, las organizaciones son resultado de traducciones, de la misma manera que los artefactos que estas dicen construir. Las categorías sociales son construidas de manera simultánea al proceso que construye los artefactos. Los gerentes de un proyecto de innovación deberán adscribir un conjunto heterogéneo de papeles a personas, instituciones, organizaciones, grupos sociales, así como a varios objetos y procesos. Estos serán caracterizados como financistas, políticos, partidarios, proveedores, técnicos, personal de I+D, recursos clave, diferentes componentes, mecanismos y demás. Algunos obedecerán sin ningún esfuerzo suplementario de enrolamiento, mientras que otros pueden rechazar esa situación, intentando a su turno traducir a nuestros gerentes de proyecto de un modo que no es compatible con los objetivos de estos.<sup>5</sup>

La segunda distinción implica que el alineamiento de las interpretaciones –de los artefactos u de otros actores– no conduce en sí mismo a ningún cambio. Los actores involucrados en un proyecto pueden acordar un criterio particular de funcionalidad acerca del artefacto que será desarrollado. Sin embargo, si no se encuentran soluciones ingenieriles para satisfacer estos criterios, existe riesgo de que el consenso se desvanezca. Si, por ejemplo, el material que se supone que debe ser utilizado muestra tener propiedades que no son compatibles con el papel que se le ha adscrito dentro del proyecto, la red que constituye el proyecto se debilitará. De este modo, el mundo natural –para disgusto de muchos sociólogos– ingresa en el análisis de la TAR. Aún así, esto no significa que los teóricos de la teoría del actor-red se transformen en positivistas o deterministas tecnológicos. Por ejemplo, el fracaso en movilizar un material particular, es registrado y articulado por actores humanos, tales como los ingenieros que trabajan en la búsqueda de una solución. Y la red que constituye el proyecto puede debilitarse

<sup>5</sup> Tanto los economistas institucionales como los constructivistas sociales reconocen que las instituciones y las organizaciones son modificadas por los actores que operan dentro de ellas. Sin embargo explican esta modificación como una realimentación cognitiva (encerrada entre modelos mentales e instituciones) sin especificar los detalles del proceso social.

debido al fracaso de los ingenieros para movilizar el mundo natural del modo deseado.<sup>6</sup>

No es fácil integrar el marco teórico TAR con el CST y la EE. El problema fundamental radica en el rechazo de la TAR de las teorías causales de la acción. Latour y Callon critican a los científicos sociales porque asumen la existencia de un conjunto discreto de causas sociales para la acción, tales como reglas, instituciones y grupos sociales, cuando para la TAR estos elementos son construidos en el proceso de la acción. La posición de Latour y Callon es problemática debido a que objeta la posibilidad de que la sociedad preceda a la acción, ya que es construida a través de ella. En el lenguaje de la TAR, se puede decir que los actores entran en nuevos caminos de acción dentro del contexto de viejos compromisos. Es verdad que la gente y las organizaciones pueden traducir sus propias historias para establecer nuevas identidades. Sin embargo, estos intentos generalmente encuentran resistencia tanto en el actor en sí mismo como en el ambiente.

El problema de negar el uso de las teorías causales de la acción es que sus conceptos tienden a aparecer subrepticamente en los análisis empíricos. Por ejemplo, ¿por qué la firma Electricité de France quiso lanzar un vehículo eléctrico a principios de la década de 1970? ¿Por qué Renault se resistió a la idea? De acuerdo con Callon y Latour, los ideólogos de la Electricité de France argumentaban que, en la futura sociedad, el vehículo eléctrico reemplazaría al auto impulsado por combustibles derivados del petróleo. Renault se molestó debido a que “Renault no tiene deseos de desaparecer; Renault desea mantenerse autónoma e indivisible, decidiendo por sí misma cuál será el futuro social y técnico del mundo industrial” (Callon y Latour, 1981, p. 290). ¿De dónde vienen todos estos deseos? ¿Por qué la Renault no elige lanzar su propio vehículo eléctrico? Todo esto parece un retroceso a los

<sup>6</sup> Sin embargo, los autores de la TAR no la expresarían de este modo, debido a que no quieren tratar con el mundo natural como algo dado. Nos parece, sin embargo, que esta interpretación de la TAR es más compatible con las otras dos aproximaciones consideradas en este estudio.

viejos compromisos: ser un tipo particular de corporación industrial, una organización particular, un tipo particular de cultura de negocios, con recursos particulares. Estos compromisos son considerados algo obvio en el análisis de Callon y Latour. Sin embargo, su significación causal para la acción afirma, precisamente, lo que la TAR niega en el nivel de la teoría.

Creemos que las teorías de la EE y la CST pueden funcionar como un correctivo de la TAR sobre la dimensión causal de la acción. Las primeras dos aproximaciones aciertan al proclamar la existencia de formas paradigmáticas de pensamiento y acción, grupos sociales y organizaciones con marcos tecnológicos. El valor añadido por la TAR es su comprensión de la complejidad de la acción y la interacción. La TAR muestra que la acción exitosa requiere que los actores intenten alinear y coordinar en forma estable las identidades, los pensamientos y el comportamiento de otros actores o procesos. Por consiguiente, otorga una valiosa comprensión de los mecanismos de clausura y de construcción de los paradigmas tecnológicos y socio-técnicos, así como de los sistemas tecnológicos. También permite comprender los límites de la explicación institucional de la acción: no es posible asumir que los grupos u organizaciones sociales tienen intereses coherentes y homogéneos. Los objetivos, los compromisos y los intereses comprometidos dependen de la manera en que el grupo o la organización han sido traducidos por sus propios miembros (y otros actores). La traducción es el mecanismo a través del cual los actores pueden transformarse a sí mismos, desplazando su propia identidad así como también la de otros.<sup>7</sup>

### Construyendo un marco de diálogo entre los tres enfoques

En las secciones precedentes se han revisado tres distintos enfoques sobre la tecnología y el cambio tecnológico –EE, CST y TAR. Ha sido señalado que si bien la EE permite analizar las relaciones clave entre

<sup>7</sup> Para una posición similar sobre la TAR, pero dentro del contexto de los estudios de género, véase Wajcman (2004) y Haraway (1991).

innovadores y su ambiente institucional, lo hace en un nivel tan agregado que carece de un diagnóstico detallado de los procesos por los cuales emerge un paradigma tecnológico particular.

El marco CST, en tanto, avanza hacia la posibilidad de este diagnóstico al articular el papel de los marcos tecnológicos con los cuales los grupos sociales piensan una tecnología particular, y también al enfatizar el papel que juega la operación de clausura en la constitución de las trayectorias tecnológicas. Pero aún así, el CST es deficiente en dos sentidos. En primer término, al concentrarse en la operación de clausura, el CST no da lugar a la conceptualización de aquello que la EE puede analizar mejor, es decir, el ambiente institucional dentro del cual la clausura tiene lugar. En segundo término, al describir la clausura como una homogeneización del criterio de funcionamiento, pero sin explicar el proceso por el cual se realiza este cambio.

Se ha recurrido a la perspectiva TAR en busca de una explicación más adecuada de los complejos procesos de clausura tecnológica. Por un lado, la TAR explica en detalle el proceso de clausura a través de los mecanismos de traducción. Por otro lado, resalta las limitaciones de una explicación institucional de la acción al mostrar que los objetivos e intereses comprometidos (*locked-in*) proveen estabilidad institucional solo de manera temporaria (dado que estos mismos se encuentran sujetos a traducciones de los actores). Sin embargo, en su análisis sobre procesos complejos, la TAR subestima los aspectos causales de la acción, los cuales parecen encontrarse adecuadamente observados en la EE y CST.

Si se toman en conjunto, creemos que estos tres enfoques se complementan entre sí, pero también abren perspectivas para nuevos desarrollos analíticos. En lo que sigue, en primer lugar se expondrá cómo los tres enfoques se suplementan entre sí mediante su organización en un marco de análisis del cambio tecnológico. Después se ilustrará el uso de este marco teórico mediante el estudio de caso de las primeras tecnologías computacionales en Finlandia. Se concluye con la identificación de áreas que necesitan de ulterior desarrollo.

Si bien los tres enfoques dialogan entre sí, a veces lo hacen sobre diferentes aspectos de la tecnología y el cambio tecnológico. Las partes

comunes y complementarias de los enfoques pueden ser identificadas en cuatro preguntas: 1) ¿qué cambia en el cambio tecnológico?; 2) ¿qué es lo que conduce este cambio?; 3) ¿qué es el proceso de cambio?; 4) ¿qué delimita el cambio?

La respuesta a la primera pregunta articula aspectos del sistema tecnológico que necesitan cambiar de un estado a otro antes de que sea posible concluir que el sistema ha cambiado verdaderamente. Las respuestas a la segunda pregunta especifican qué factores relevantes, humanos, sociales, tecnológicos (y otros factores posibles) conducen el cambio tecnológico. En otras palabras, ¿dónde se encuentra el *locus* de la agencia en el cambio tecnológico? Para facilitar la integración de las tres perspectivas, utilizamos el término "conducir" en vez de "causar", del mismo modo en que lo hace la comunidad de investigadores del cambio climático. El calentamiento global puede ser el "conductor" de los episodios climáticos incrementando su frecuencia o intensidad, pero los climatólogos aún son incapaces de probar que un episodio particular fue "causado" por el incremento del efecto invernadero (Mintzer y Leonard, 1994). De manera análoga, puede observarse cómo el cambio tecnológico es conducido por actores socialmente situados, interconectados en redes con otros actores y procesos. Pero, desde esta perspectiva, puede considerarse problemática la atribución de causalidad a un contexto social particular, o a una práctica organizacional, o incluso a una red (se retorna al tema de la causalidad más adelante cuando se discuten las áreas de investigación futura). La respuesta a la tercera pregunta sirve como prueba de los mecanismos y las dinámicas que se producen cuando los sistemas tecnológicos cambian de un estado a otro. Finalmente, las respuestas a la última pregunta describen las condiciones límite y los factores contextuales que guían los senderos del cambio tecnológico. Los tres enfoques de análisis (EE, CST y TAR) son comparados en términos de estas cuatro preguntas en la tabla 1.

La tabla 1 resume concisamente los elementos comunes entre las aproximaciones y (ante la ausencia de elementos comunes precisos) presenta apareados los elementos mutuamente compatibles.

El marco integrado de la tabla 1 puede ayudar a los analistas de

la tecnología a elegir distintas aproximaciones de investigación. Como se ha argumentado, las tres aproximaciones a los estudios sociales de la tecnología no son mutuamente excluyentes. En algunos aspectos, representan dos formas de decir lo mismo, en otros aspectos son complementarios. Cuando dicen lo mismo, la elección de la perspectiva de investigación no tiene mucha importancia. Cuando son complementarios, la elección es importante, y debería orientarse de acuerdo al alcance de las diferencias entre una aproximación y otra. Es más probable que dos formulaciones complementarias de conceptos y relaciones sean más adecuadas que solo una para analizar los diversos matices del problema elegido. La tabla 1 identifica algunas de las líneas clave que dividen las aproximaciones complementarias de los estudios sociales de la tecnología. De acuerdo al análisis, en la tabla 1 existen aproximaciones complementarias para todas las cuestiones excepto la primera, a saber, ¿qué cambia? Si, por ejemplo, el investigador quiere comprender qué es lo que conduce el cambio tecnológico (pregunta 2 en la tabla 1), entonces debería estar seguro de elegir la perspectiva TAR como una de las aproximaciones, debido a que su concepción de la agencia es radicalmente diferente de las otras dos aproximaciones. La TAR concibe el cambio tecnológico como un elemento implicado en la formación de una red más que como un resultado ontológico independiente de la acción y la interacción. Si la cuestión de interés es el proceso de cambio (pregunta 3), entonces debería usar la EE como una de las aproximaciones para obtener una perspectiva del papel del aprendizaje en el cambio tecnológico. Finalmente, si el objetivo es analizar las condiciones que delimitan el cambio tecnológico (pregunta 4), la perspectiva TAR debería ser una de las aproximaciones para tratar sobre las contingencias en el cambio tecnológico.

Para ilustrar cómo trabaja el marco teórico integrado presentado en la tabla 1 en un caso empírico, tomaremos la reciente investigación de Petri Paju (2002) sobre los momentos iniciales de la adquisición de tecnologías computacionales por parte de Finlandia. Desde nuestro punto de vista, el estudio de Paju se basa en influencias de las tres perspectivas discutidas aquí, pero lo hace solo implícitamente (con ex-

Tabla 1. Elementos comunes y complementarios entre los tres enfoques del cambio tecnológico: economía evolucionista (EE), construcción social de la tecnología (CST) y teoría del actor-red (TAR)

	EE	CST	TAR
1. ¿Qué cambia?	DE LAS ORIENTACIONES DE LA ACCIÓN Y LAS INTERPRETACIONES DIVERGENTES A LAS CONVERGENTES		
	<i>Emergencia del paradigma tecnológico después el lock in sociotécnico</i>	<i>Estabilización del artefacto después de la clausura de la controversia</i>	<i>Creación de la red después de la traducción exitosa de los actores y las entidades</i>
2. ¿Qué es el conductor del cambio?	AGENCIA ENRAIZADA EN LO SOCIAL		AGENCIA ENRAIZADA EN REDES HETEROGÉNEAS DE HUMANOS Y NO-HUMANOS
	<i>Organizaciones promoviendo diferentes tipos de comportamiento</i>	<i>Grupos sociales con diferentes interpretaciones del artefacto</i>	
3. ¿Qué es el proceso de cambio?	APRENDIZAJE ORGANIZACIONAL Y COGNITIVO	INTERACCIÓN SOCIAL	
		<i>Asentamiento de las controversias</i>	<i>Enfrentamiento de las traducciones</i>
4. ¿Qué delimita el cambio?	ESTABILIDADES CONTEXTUALES		CONTINGENCIAS EN LAS REDES
	<i>Reglas institucionales y rutinas</i>	<i>Marco tecnológico</i>	

Las afirmaciones en mayúsculas indican los elementos en común entre las aproximaciones. Las afirmaciones en itálicas especifican diferencias en la terminología dentro de una aproximación común. Los elementos complementarios entre las afirmaciones en mayúsculas son elaborados en el texto.

cepción a sus referencias a la CST). En la breve ilustración que sigue se explicitarán estas influencias con el fin de observar de qué modo, cuando se interpreta este trabajo desde la perspectiva de las cuestiones metodológicas señaladas, se puede responder a la preguntas 2 (¿qué es el conductor del cambio?) y 3 (¿qué es el proceso de cambio?) de la tabla 1. Con relación con la pregunta 2, se demuestra la importancia de

utilizar tanto la CST como la TAR para obtener una perspectiva más rica del conductor del cambio de la tecnología computacional en Finlandia. En relación con la pregunta 3, se observará que las perspectivas de la EE y la CST sobre el proceso de cambio son complementarias entre sí. Comencemos por la última pregunta.

¿Cómo explicar la transferencia de tecnología computacional a Finlandia en los años de la década de 1950? En este caso hay signos obvios de una trayectoria de aprendizaje, mejor comprendida con la EE. Una parte del aprendizaje se relaciona con el desarrollo internacional de la tecnología informática. La década de 1950 fue un tiempo de cambios paradigmáticos en muchas de las tecnologías que estructuran la computadora (o la “máquina matemática”, tal como fue llamada en los tempranos años de la década de 1950): la transición de la computación analógica a la digital, la internalización del *software* de control, la transición de las válvulas a los transistores; el desarrollo de los lenguajes de programación (tales como Fortran),\* que imitaban la expresión matemática, y el uso de lenguajes de programación básicos (como el SOAP). Todos estos cambios transformaron la computadora en una herramienta más rápida, más confiable, y mucho más flexible que las máquinas matemáticas de los primeros años de la década de 1950.

Otra parte del aprendizaje se relaciona con la difusión de la tecnología. La primera computadora importada en Finlandia, una IBM-650, fue adquirida en 1958 por un banco nacional. En ese momento, las computadoras eran extremadamente grandes y caras, por lo que el ensamblaje de ENSI (así se la denominó) fue un importante evento en el país. La IBM-650 se basaba en la tecnología de válvulas. Tenía un *software* de control interno, y usaba un lenguaje de programación básico que incrementaba la velocidad y la flexibilidad. La ENSI fue seguida por otras computadoras, pedidas por instituciones financieras y después por la industria. La nueva tecnología se adecuó a la creciente

necesidad de almacenar y procesar información. Desde la perspectiva de la EE, este fue un caso de difusión de tecnología en un período de transición paradigmática en la tecnología informática. La rama finlandesa de IBM funcionó como mediadora, conectando las necesidades emergentes de las organizaciones finlandesas con las actividades de innovación de IBM, colaborando activamente con sus clientes, y ayudándolos a desarrollar el *know-how* para operar las máquinas.

Sin embargo, al utilizar la perspectiva CST, es posible profundizar el análisis del proceso de cambio tecnológico. Así, es posible observar que, más que la mera difusión de una nueva tecnología, la ENSI reforzó la productividad. ENSI fue, de hecho, la culminación de un proceso social de interacción que produjo un cambio de actitud hacia las computadoras y su uso. En los tempranos años de la década de 1950, las computadoras eran consideradas principalmente como instrumentos de uso científico y militar. Se utilizaban como calculadoras avanzadas para la resolución de ecuaciones matemáticas o el cálculo de trayectorias balísticas, pero eran poco prácticas para el registro y el procesamiento de vastas cantidades de información y para dar resultados *en masse*. Hasta 1956, las autoridades y las industrias finlandesas habían mostrado poco interés en la adquisición de computadoras. La tecnología de tarjetas perforadas era considerada suficiente para las necesidades existentes.

Naturalmente, entonces, el único proyecto local propuesto de construcción de una computadora tuvo un fuerte sesgo científico. En 1954 se estableció el Comité de la Máquina Matemática, presidido por el conocido matemático Rolf Nevanlinna. Su tarea era construir la primera máquina matemática en Finlandia –eventualmente denominada “ESKO”. El plan era que ESKO fuera utilizada por un amplio conjunto de usuarios, del sector público y la industria. Sin embargo, los usuarios mostraron poco interés, y más tarde prefirieron las soluciones tecnológicas ofrecidas por IBM. En el lenguaje de la CST, los marcos tecnológicos de los científicos y de las instituciones públicas y la industria eran bastante diferentes: tenían diferentes perspectivas sobre los problemas que las computadoras debían resolver, y por lo tanto también acerca de

\* Fortran: acrónimo de Formula Translation (traductor de fórmulas). Lenguaje de programación utilizado inicialmente para realizar cálculos matemáticos complejos. [N. del T.]

los contenidos apropiados para la tecnología informática. Mientras que los científicos observaban con interés las capacidades computacionales de ESKO, los responsables de tecnologías informáticas en el sector público y en la industria veían una máquina lenta, poco flexible y poco práctica. Sus válvulas se rompían a menudo, sus programas de control externos la hacían poco flexible, y su memoria (de tipo cilindro) la hacía lenta. Los científicos podían darse el lujo de pasar por alto estos problemas. Sin embargo, este no era el caso para las organizaciones del sector público y la industria, debido a que la confiabilidad (y hasta cierto punto la velocidad) eran mucho más relevantes para ellos. En contraste con la EE, la CST trata las diferentes opciones tecnológicas, ENSI y ESKO, de manera simétrica, y explica el éxito de los tipos de máquina ENSI y el fracaso de la ESKO en términos de grupos sociales o actores y sus necesidades e interpretaciones.

Volviendo a la cuestión de *qué* fue el conductor del cambio (tabla 1), podemos ver el beneficio de extender el análisis de la EE y CST hacia la TAR. El enfoque TAR explica cómo varios actores tratan de crear redes alrededor de una tecnología u otra. En este caso, existió una competencia entre el Comité de la Máquina Matemática, que promocionaba la ESKO, e IBM, que promocionaba sus propias máquinas, como la ENSI. De acuerdo a Paju (2002), algunos miembros del Comité querían usar la ESKO para crear un centro nacional de computación, y más en general, para promover y organizar el sector informático de Finlandia. Para hacer esto, el Comité necesitaba enrolar usuarios potenciales. Una de sus estrategias fue disponer cursos de extensión para educar a quienes operaban las máquinas con tarjetas perforadas, que las computadoras eventualmente habrían de reemplazar. Estos cursos devinieron una arena importante para la transferencia de conocimiento y el cambio de actitudes. Sin embargo, este cambio no benefició a Comité sino a IBM. La razón era que ESKO era una copia de la máquina G1a, que estaba siendo diseñada por el Instituto Max-Planck en Göttingen. Desafortunadamente, los alemanes se habían retrasado en el diseño del prototipo de la G1a. El serio retraso de la ENSI puso en tensión el compromiso de la gente involucrada en su construcción,

y -día a día- personas clave abandonaban el proyecto. Uno de ellos, Hans Andersin, terminó trabajando en IBM, y fue una figura clave en el proyecto ENSI. Al mismo tiempo, IBM fue activa en la construcción de redes, enrolando clientes por medio de diversas estrategias: ofrecimiento de servicios de soporte, de alquiler de máquinas (en lugar de ventas), permanente generación de nuevas máquinas, política de descuentos a universidades, etcétera.

En conclusión, según la perspectiva de la TAR (y en contraste con lo que un análisis CST hubiera hipotetizado) no se produjo un enfrentamiento directo entre personas que se encontraban fuertemente determinadas por sus marcos tecnológicos. Más bien hubo una evolución relativamente rápida en la cual la red-IBM se fortaleció, mientras que la red-ESKO declinó. La ESKO estuvo completa en 1960 y fue ubicada en el centro informático de la Universidad de Helsinki. Pero para entonces, ni siquiera los científicos pensaban ya en utilizar una máquina considerada obsoleta. Al siguiente año ESKO fue desmantelada. Tal como argumenta convincentemente Paju (2002), sin embargo, el triste destino de la ESKO no significa necesariamente que el proyecto como tal fuera en vano. Muchas de las ideas y competencias se desarrollaron en su construcción fueron puestas en juego más tarde en nuevos contextos, fortaleciendo nuevas redes y, de ese modo, nuevas tecnologías informáticas.

El caso ESKO revela una de las debilidades de la perspectiva TAR: el hecho de que solo toma en cuenta las partes visibles de la red. La TAR es un modelo pobre para explicar los efectos "externos" de una red, no importa si son positivos (como en el ejemplo dado) o negativos (tales como las desigualdades que puede generar la exclusión de una determinada red). Como sugiere Wajcman (2004, p. 43) "prestar atención a las prácticas de exclusión o evasión y sus efectos, es una parte integral -y no periférica- para lograr descripciones adecuadas de los procesos de construcción de redes". Más allá del evidente problema moral de la exclusión y marginalización; es necesario comprender que grupos aparentemente periféricos pueden adquirir poder para influir en un desarrollo tecnológico, como es mostrado por Casper y Clarke

(1998). Las restricciones de la TAR en este punto no son compensadas por la EE o la CST: ninguno de los enfoques discutidos en este trabajo es particularmente adecuado para el estudio de las externalidades de las redes.

#### DESAFÍOS DE INVESTIGACIÓN

Mientras que el marco teórico que desarrollamos provee una comprensión amplia de cambios tecnológicos (tal como las primeras etapas de informatización en Finlandia), también deja importantes espacios en blanco. Estos son áreas promisorias para futuras investigaciones. Estas áreas pueden ser localizadas en las líneas que dividen las complementariedades identificadas en la tabla 1.

Lo intrigante sobre estas complementariedades es que describen el mismo fenómeno con diferentes conceptos. Pero, ¿están relacionados estos conceptos? Pensamos que lo están, y la explicación de estas relaciones puede ser planteada como una tarea de investigación. Próximas investigaciones deberían especificar los mecanismos de interfase que existen entre los procesos cognitivos y organizacionales, que emergen como resultado de la convergencia de la definición de problemas y del cambio tecnológico. La tabla 1 y el caso estudiado ayudan a articular la tarea de investigación más específicamente.

El primer desafío de investigación surge como un intento de unificar las diferentes concepciones de lo que conduce el cambio tecnológico en la tabla 1. El reto es explicar los mecanismos por los cuales grupos sociales con diferentes interpretaciones de la tecnología (el enfoque EE/CST) se convierten en parte de una red que permite aquello que conduce el cambio tecnológico. Por ejemplo, en el caso de la informatización en Finlandia: ¿cómo evolucionó exactamente el marco tecnológico de los individuos que decidieron unirse a la red ENSI (o de aquellos que decidieron pegarse a la red ESKO) durante el proceso de reenrolamiento? y ¿cómo emergieron estas redes –o cómo se deterioraron– a partir de la integración o deserción de diferentes individuos?

Mientras la discusión se concentra alrededor del debate sobre la agencia del cambio, sospechamos que “conductor” –más que “causa”– es un concepto apropiado para comprender el fenómeno. Cuando un individuo después de otro cambia desde la red ESKO a la red ENSI, la causa del cambio tecnológico podría estar ubicada en cualquiera de los individuos, en un grupo de ellos, en el fortalecimiento de la red ENSI, en el debilitamiento de la red ESKO, o en forma arbitraria, en casi cualquier otra entidad involucrada en el proceso. Por el contrario, sería un esfuerzo más fructífero tratar de articular el proceso de conducción subyacente al cambio, constituido por una comprensión continuamente renovada de las particularidades de la situación, cada uno interactuando con la cada vez más debilitada red ESKO y la cada vez más fortalecida red ENSI.

Podrían obtenerse mayores precisiones sobre este proceso a través de una observación más cercana a los diferentes enfoques de la tabla 1, lo que conduciría al planteo del segundo desafío de investigación: la explicación de los aprendizajes individuales y su relación con los procesos organizacionales en los cuales se resuelven las controversias. Es necesario observar nuevamente el caso de la informatización en Finlandia. Debido a que tanto la explicación del arribo a Finlandia de la computadora ENSI como un asunto de aprendizaje y difusión (el enfoque EE), y la afirmación de la existencia de una controversia entre ESKO y ENSI (el enfoque CST/TAR) son explicaciones complementarias pero satisfactorias del mismo fenómeno: ¿es posible entender la disputa como un elemento del proceso de aprendizaje y difusión?

Finalmente, un desafío de investigación para el futuro surge de las diferentes maneras de comprender las condiciones que limitan el cambio tecnológico (tabla 1): ¿son estas mejor entendidas como reglas institucionales relativamente estables (EE) y marcos tecnológicos (CST), o como contingencias inesperadas que emergen de la evolución de una red (TAR)? En gran parte, estas alternativas devienen de las diferencias en la escala de análisis más apropiada para cada enfoque. La turbulencia y contingencia que el análisis de la TAR observa en la rápida emergencia de una tecnología particular, según el punto de vista del analista EE o CST parece estar constreñida por marcos tecno-

lógicos institucionalizados bastante estables. Un fenómeno interesante –y poco comprendido– tiene lugar precisamente en el punto donde se desvanecen las diferencias de escala, es decir, cuando un individuo que se encuentra, al mismo tiempo, “motivado para” y “capacitado para” modificar su marco cognitivo interactúa con un marco institucional que se encuentra en estado de reconfiguración debido a sus tensiones acumuladas. Por ejemplo, en el caso de la informatización en Finlandia: ¿podría conceptualizarse el marco cognitivo de Hans Andersin y las formas de pensamiento predominante sobre informática a través de una terminología satisfactoria, explicando el proceso de coevolución cognitivo-institucional en el momento en el que Andersin pasó del proyecto ESKO hacia el ENSI? Los detalles de las perturbaciones interescales en el proceso de cambio tecnológico merecen mayor atención; sus implicaciones se extienden más allá del campo de los estudios sociales de la ciencia y la tecnología.

## Estructuras cerradas *versus* procesos dinámicos: trayectorias y estilos de innovación y cambio tecnológico

Hernán Thomas

### INTRODUCCIÓN

La concepción del cambio tecnológico y la innovación ha cambiado radicalmente en las dos últimas décadas. Los modelos llamados “interactivos” reemplazaron las modelizaciones anteriores, llamadas ahora “lineales”. Los modelos actuales, generados a partir de la matriz disciplinaria “economía del cambio tecnológico”, subrayan el papel que desempeña la concepción industrial sobre las relaciones entre las fases “hacia adelante” (ligadas al mercado) y las fases “hacia atrás” (ligadas a la tecnología) de la innovación, así como las numerosas interacciones entre la ciencia, la tecnología y las actividades vinculadas a la innovación, tanto si se realizan en el interior de las empresas como si se hacen en el marco de diversas acciones cooperativas interinstitucionales (OECD, 1992).

Describir los procesos de cambio tecnológico e innovación a través de conceptualizaciones dinámicas, descritas en términos de “relaciones”, “procesos” y “trayectorias”, ofrece particulares ventajas, en comparación con otras centradas en el accionar de “sujetos” aislados, “artefactos singulares”, “situaciones originales”, o “factores” de existencia “universal”.

Para captar relaciones, procesos y trayectorias, el abordaje analítico-conceptual de este trabajo fue generado mediante un procedimiento de triangulación teórica, combinando conceptos generados en

dos matrices disciplinarias: sociología de la tecnología y economía del cambio tecnológico.<sup>1</sup>

El objetivo de este trabajo es proponer un conjunto de conceptos socio-técnicos: dinámica y trayectoria socio-técnica, estilos socio-técnicos, resignificación de tecnologías, conocimientos genéricos, procesos de adecuación socio-técnica, entre otros, particularmente útiles para la comprensión de procesos de diseño, producción y utilización de tecnologías en América Latina.

La aplicación de esta serie de conceptos sobre un *set* de casos paradigmáticos (una selección de instituciones latinoamericanas que desarrollaron actividades tecno-productivas entre 1960 y 2005, correspondientes a los sectores metalmecánico, biotecnológico, nuclear, aeroespacial) ha permitido tanto testear su potencial explicativo, como evaluar su competencia para la construcción de algunos significativos hechos estilizados.

## 1. CONCEPTUALIZACIONES DE LA SOCIOLOGÍA DE LA TECNOLOGÍA

### Lo “socio-técnico”

La tensión determinista (determinismo tecnológico *versus* determinismo social), común en los estudios sobre tecnología, solo puede ser

<sup>1</sup> Es posible verificar en la actualidad un movimiento de convergencia entre economía de la innovación y sociología de la tecnología. No nos referimos simplemente a los avances realizados desde la sociología del trabajo y la escuela de la regulación, reflejados, por ejemplo, en los trabajos de B. Coriat (1985a, 1985b, 1992a, 1992b) y B. Coriat y D. Taddéi (1995), sino a convergencias más explícitas, por ejemplo: Coombs *et al.* (1992) o MacKenzie (1992). Otra de las convergencias teóricas entre sociología de la tecnología y economía de la innovación relevada en el transcurso de este trabajo se encuentra consignada en el manual de la OECD (1992), en un apartado titulado: “La morfología de las redes y los sistemas nacionales de innovación”. Una de las expresiones más claras en este sentido, realizada “desde” la sociología, es la construcción del modelo de representación institucional de “*socio-technical constituencies*”, desarrollado por Alfonso Molina.

superada si se abandona la representación analítica-estructural de “tecnología” y “sociedad” como dos entidades equivalentes, dos esferas de existencia independiente. Pero, evidentemente, no es suficiente con abandonar una perspectiva para resolver un problema. La superación solo se consigue si es posible adoptar una nueva representación que evite los inconvenientes de la anterior.

El desarrollo de los estudios sociales de la tecnología durante los últimos 15 años generó una serie de abordajes que intentan captar la naturaleza compleja de los procesos de cambio tecnológico (Vessuri, 1991 y 1994). Estos abordajes se han centralizado en una convicción teórica: es imposible –e inconveniente– realizar distinciones *a priori* entre “lo tecnológico”, “lo social”, “lo económico” y “lo científico”. Esta característica del desarrollo tecnológico ha sido descrita con la metáfora del “tejido sin costuras” (*seamless web*) (Hughes, 1986; Bijker, Hughes y Pinch, 1987). Así, para Bijker (en este volumen), el tejido de una sociedad moderna no está hecho de distintas piezas científicas, económicas, tecnológicas o sociales. Esos “dobletes” pueden ser vistos como hechos por los actores o por los analistas.

Esta agregación posibilita otorgar un mayor grado de precisión al planteo interactivo de la construcción social de la tecnología, desde una posición no determinista. Desde allí, resulta más adecuado hablar de “lo socio-técnico” (tanto en términos de abordaje teórico-metodológico como de unidad de análisis).

El “*stuff*” [relleno, materia] de la invención de la lámpara fluorescente fue tanto económico y político como eléctrico y fluorescente. Permítanos llamar “socio-tecnología” a ese *stuff*. Las relaciones que analicé han sido simultáneamente sociales y técnicas. Las relaciones puramente sociales solo pueden ser encontradas en la imaginación de los sociólogos, relaciones puramente técnicas solo se encuentran en el terreno de la ciencia-ficción. Lo técnico es socialmente construido y lo social es tecnológicamente construido. Todos los ensambles estables son estructurados al mismo tiempo tanto por lo técnico como por lo social (Bijker, 1995, p. 273).

## Constructivismo moderado y radical

Resulta pertinente una aclaración previa, a fin de evitar posibles malentendidos. En nuestros días, afirmar que la tecnología responde a un proceso de construcción social puede ser interpretado como una verdad de Perogrullo. Sin embargo, es necesario distinguir entre un constructivismo “moderado” y uno “radical”. El primero, cercano al sentido común, plantea la influencia que los intereses políticos, los grupos de consumidores, los estereotipos de género, la mercadotecnia, ejercen sobre la forma final de la tecnología. Hasta aquí, simple determinismo social. Pero el constructivismo radical se propone explicar la manera en que los procesos sociales influyen en el contenido mismo de la tecnología:

La versión radical, que gira alrededor del trabajo de la sociología de la ciencia, sostiene que el significado de la tecnología, incluyendo hechos sobre su funcionamiento –establecidos quizás mediante un proceso de diseño de ingeniería y prueba–, es en sí una construcción social. Esta última consideración se opone a cualquier concepción de determinismo tecnológico que ubica al desarrollo tecnológico bajo su propia lógica inmanente (Pinch, 1997, p. 22).

En otros términos, en tanto el planteo moderado supone una autonomía de la tecnología que sufre influencias “externas”, para el planteo radical la tecnología es social “hasta la médula”. La tecnología, entonces, forma parte de un tejido sin costuras de la sociedad, la política y la economía. El desarrollo de un artefacto tecnológico no es simplemente un logro técnico; inmerso en él se encuentran consideraciones sociales, políticas y económicas. La parte más difícil de cualquiera de dichos análisis, señala Pinch (1997), es demostrar la manera en que los artefactos mismos contienen a la sociedad inmersa en ellos, mediante una operación heurística, de base empírica: “abrir la caja negra de la tecnología”.

Estos estudios intentan mostrar el carácter social de la tecnología y el carácter tecnológico de la sociedad, generando un nivel de aná-

lisis complejo: lo “socio-técnico”, en contra de las visiones deterministas lineales, tecnológicas o sociales, corrientemente adoptadas por los analistas (economistas, historiadores de la tecnología, etc.) o por los propios actores (ingenieros, empresarios, políticos, operarios, usuarios...) intervinientes en los procesos de cambio tecnológico.

Tres abordajes juegan un papel central en el desarrollo de los actuales estudios sociales de la tecnología: “sistemas tecnológicos”, “actor-red” y “constructivismo social”.

El primero se basa en el trabajo del historiador de la tecnología norteamericano Thomas P. Hughes. El segundo está asociado al trabajo de Michel Callon, Bruno Latour y John Law. El tercero fue iniciado por los trabajos teórico-metodológicos de Trevor Pinch y Wiebe E. Bijker.

Si bien es posible encontrar amplios territorios de coincidencia en las premisas iniciales de estos tres abordajes, también es posible verificar diferentes itinerarios conceptuales (Boczkowski, 1996). A continuación intentaremos sintetizar cada una de estas conceptualizaciones, dado que las diferentes miradas que reflejan significan distintas perspectivas de análisis del cambio tecnológico.

En el plano teórico, los desarrollos de los tres abordajes permiten abrir la “caja negra” de la tecnología, y des-construir sus elementos constitutivos. En un plano práctico, las herramientas analíticas de estos abordajes fueron generadas “a fin de dar cuenta” del carácter complejo y dinámico del objeto de análisis “cambio tecnológico”. Los autores intentaron “limpiar” su aparato conceptual de toda carga determinista *a priori*. Por ello, los instrumentos generados no incluyen (o al menos intentan evitar explícitamente) connotaciones que “dejarían entrar por la puerta trasera” conceptualizaciones mono-deterministas.

### Abordaje en términos de “sistema tecnológico”

El análisis de la tecnología de Thomas P. Hughes se basa en la conceptualización de la dinámica tecnológica en términos de la metáfora de “sistemas”. Define a los “sistemas tecnológicos” mediante dos vías (Hughes, en este volumen; véase también, 1983): a) definición de sis-

tema tecnológico por su objeto, como sistemas de resolución de problemas: los sistemas tecnológicos solucionan problemas o satisfacen objetivos haciendo uso de cuantos medios son disponibles y apropiados; los problemas reordenan el mundo físico en formas consideradas útiles o deseables, al menos para quienes diseñan o emplean un sistema tecnológico; b) definición de sistema tecnológico por sus elementos componentes: los sistemas tecnológicos contienen diversos, complejos componentes orientados en términos de problema-solución. Son construidos y moldeados socialmente. Los componentes de los sistemas tecnológicos son artefactos físicos, incluyen organizaciones (firmas manufactureras, empresas de servicios, bancos de inversiones), y componentes usualmente denominados científicos (libros, artículos, programas universitarios de enseñanza e investigación). Artefactos legislativos, tales como leyes regulatorias, también pueden formar parte de los sistemas tecnológicos, porque son socialmente construidos y adaptados con el objeto de funcionar en sistemas, los recursos naturales, como minas de carbón, también califican como artefactos del sistema.

La dinámica sistémica, antes que los elementos aislados, permite comprender la orientación y alcance de los procesos de cambio tecnológico. Así, un artefacto, tanto físico como no físico, funcionando como componente de un sistema, interactúa con otros artefactos. Todos los artefactos contribuyen directa o a través de otros componentes a los objetivos generales del sistema. Dada esta dinámica sistémica, si un componente es removido de un sistema o si sus características cambian, los otros artefactos en el sistema alterarán sus características en consonancia.

Dado que toda conceptualización en términos de sistema implica realizar una diferenciación sistema-entorno, Hughes establece las particulares "reglas de juego" de los sistemas tecnológicos. Los sistemas tecnológicos se relacionan con el entorno de dos maneras, una, en la que dependen de este, otra en la que este depende de ellos. En ambos casos, no existe interacción entre sistema y entorno, existe simplemente una influencia unidireccional. Dado que no se encuentran bajo el sistema de control, los elementos del entorno que afectan al sistema

no deben ser confundidos con componentes del sistema. Dado que no interactúan con el sistema, los elementos del entorno no pueden ser vistos como parte del sistema.

El aspecto de "control" es utilizado como criterio de diferenciación entre "componentes" y "artefactos" del sistema tecnológico. O, en otros términos, Hughes no comparte en este plano el criterio de simetría radical de Latour y Callon. Los sistemas tecnológicos están delimitados por los límites de control ejercidos por los operadores artefactuales y humanos. Los inventores, científicos, empresarios industriales, ingenieros, gerentes, financistas, agentes gubernamentales y trabajadores son componentes, pero no artefactos del sistema. No son creados por los "constructores de sistemas", los individuos y grupos tienen un grado de libertad que no poseen los artefactos. Esto no debe confundirse conceptualmente con el accionar de las organizaciones modernas. Los constructores de sistemas han tendido a burocratizar, descalificar y rutinizar con el objetivo de minimizar el papel de la voluntad de los trabajadores y administradores en el sistema, pero esto no implica la "artefactualización" de estos humanos en el plano del abordaje analítico (aunque sí, tal vez, en la intención de los constructores).

La conceptualización de sistemas lleva a Hughes a complejizar las actividades de innovación, acercándose a los modelos interactivos planteados por la economía del cambio tecnológico, pues las innovaciones revelan la complejidad tecnológica de los sistemas. El *entrepreneur*, junto con los ingenieros, científicos industriales, y otros inventores que ayudan a tornar el producto utilizable, usualmente combinan lo inventado y los componentes físicos desarrollados en un complejo sistema consistente en fabricación, ventas, y servicios de mantenimiento de productos y procesos.

En el enfoque sistémico, las actividades de "transferencia" y "adaptación" aparecen asociadas, en un sentido similar al planteado por los desarrollos de la economía del cambio tecnológico que integran en un proceso interactivo innovación y difusión. Dado que un sistema usualmente requiere adaptaciones a las características de diferentes épocas y lugares, los conceptos de transferencia y adaptación están

ligados. Esta ligazón, asociada al carácter socialmente construido de las tecnologías, conduce a la generación de formas de desarrollo tecnológico particulares: los estilos tecnológicos. La exploración del tema de la transferencia lleva lógicamente a la cuestión del estilo: la adaptación es una respuesta a diferentes entornos, y la adaptación al entorno culmina en estilo.

Distintos factores inducen la aparición de estilos. Los factores que conforman el estilo son numerosos y variables, por ejemplo: ganar prestigio para un régimen, factores de naturaleza geográfica, o experiencias históricas regionales y nacionales. Los estilos tecnológicos permiten la realización de descripciones enmarcadas en la concepción constructivista. Al aplicar el concepto sistémico de estilo a la tecnología es posible percibir claramente la falsedad de la noción “la tecnología es simplemente ciencia aplicada y economía”. Las leyes de Ohm y Joule, los factores de *input* y *output* y las unidades de costo –señala Hughes– no son explicación suficiente para la conformación de la tecnología. Los conceptos de conformación social de la tecnología y estilo tecnológico ayudan al historiador y al sociólogo a superar análisis reduccionistas (economicistas o técnicos) de la tecnología.

En contra de las conceptualizaciones que tratan a los “sistemas de artefactos” como entidades independientes (por ejemplo, sistema energético, siderúrgico, etc.), para Hughes los sistemas tecnológicos no se autonomizan, sino que adquieren *momentum*. Lo que ocurre, en realidad es que un alto nivel de *momentum* causa la sensación en los observadores de que el sistema ha devenido autónomo. El *momentum* de un sistema es explicado como una construcción social compleja. Esta forma de plantear la acumulación en favor de una tecnología amplía el alcance, en términos de actores y recursos puestos en juego, de conceptualizaciones como trayectoria tecnológica y tecno-económica (Rosenberg, 1976; Dosi, 1982a y 1982b; Freeman *et al.*, 1982). Al mismo tiempo, se opone a la noción de “paradigma tecnológico” (Dosi, 1982b), actualmente vigente en el sentido común.

El abordaje en términos de “sistema tecnológico” supone una crítica y superación de otras opciones analíticas: no es lineal, no prioriza

ningún aspecto (económico, tecnológico, político) transformándolo en hilo conductor, no restringe la actividad tecnológica a un *locus* privilegiado (empresa, laboratorio de I+D, etc.), permite comprender el carácter complejo de construcción social de la tecnología a través de operaciones de representación racional.

Sin embargo, no todas son ventajas en este enfoque. A continuación definimos algunos de los principales problemas.

El bagaje conceptual del abordaje en términos de *sistema tecnológico* puede resultar excesivamente restringido para la explicación de procesos de cambio tecnológico, en particular, de procesos singulares a escala artefactual.

En particular, provee un conjunto específico de conceptos para analizar cómo los diversos actores interactúan con la tecnología, cómo la evalúan y en qué dirección proponen el cambio tecnológico (Elzen *et al.*, 1996, p. 101).

En tanto resulta útil en análisis a gran escala (grandes sistemas tecnológicos nacionales o transnacionales), presenta dificultades para su operacionalización sobre aspectos parciales. La solución analítica en términos de “subsistemas”, propuesta por Hughes, supone no pocas dificultades en su operacionalización.

La noción de *constructor del sistema* induce a no pocos malentendidos, y tiende a generar –como un efecto no deseado– análisis basados en la estilización racionalizada del comportamiento de los actores. Al privilegiar –*a priori*– el papel desempeñado por un conjunto restringido de actores, tiende a verticalizar los análisis. En última instancia, este efecto genera una sensación de que los sistemas son organizados (alguien “gobierna” el sistema, algún actor singular puede dar cuenta de manera suficiente de su orientación, direccionamiento, ritmo y criterio de desarrollo).

La distinción topológica *entorno-sistema* implica la determinación *a priori* de un límite de frontera, generando dificultades tanto en el plano epistemológico como metodológico para la operacionalización del concepto en investigaciones de base empírica. Esta dificultad ya fue señalada por M. Callon (en este volumen). Al mismo tiempo, la dinámica

de relación unidireccional entre entorno y sistema, planteada como regla de funcionamiento por Hughes, supone una restricción *a priori*.

En tanto la noción de sistema resulta particularmente útil para la reconstrucción analítica de relaciones sincrónicas, presenta problemas a la hora de dar cuenta de relaciones diacrónicas. Concretamente, la conceptualización de *grandes sistemas tecnológicos* funciona mejor como foto (imagen sincrónica de un estado del sistema) que como película (representación de un proceso heterogéneo, diverso y simultáneo). El problema es resuelto, en la práctica, por sucesión de estados del sistema, o por el seguimiento de elementos singulares o procesos de cambio parciales, ajenos a la concepción sistémica de la conceptualización.

Finalmente, dado que la única unidad de análisis de la conceptualización es el propio sistema, este abordaje analítico presenta problemas a la hora de operacionalizar análisis de objetos de menor escala o alcance (*scope*) que el gran sistema tecnológico (por ejemplo: artefactos, empresas, actores) de análisis en unidades discretas: el objeto es el sistema.

#### Abordaje en términos de actor-red: redes tecno-económicas

A partir de la teoría actor-red (en inglés: *Actor-Network Theory*, ANT) Callon desarrolló un marco conceptual para el análisis de “redes tecno-económicas”. Callon propone una definición tentativa de red tecno-económica: conjunto coordinado de actores heterogéneos –por ejemplo: laboratorios públicos, centros de investigación tecnológica, empresas, organismos de financiación, usuarios y gobierno– que participan activamente en la concepción, desarrollo, producción y distribución o difusión de procedimientos para producir bienes y servicios, algunos de los cuales dan origen a transacciones de mercado (véase Callon, en este volumen).

Las redes tecno-económicas aparecen, en la conceptualización de Callon, como una derivación directa de la propuesta de actor-red (desarrollada por Bruno Latour, John Law y el propio Callon). Por esto, no deben ser confundidas con las redes técnicas (normalmente estudiadas

por economistas o tecnólogos –redes de telecomunicaciones, redes de entrenamiento, etc.), las que pueden ser reducidas esencialmente a extensas asociaciones de no-humanos que aquí y allí vinculan a algunos humanos entre sí. Tampoco son reducibles a las redes sociales (redes de actores descritas por los sociólogos, historiadores y antropólogos), que privilegian interacciones entre humanos en ausencia de todo soporte material.

Las redes tecno-económicas son compuestas, mezclan humanos y no-humanos, inscripciones de todo tipo, y dinero en todas sus formas. Su dinámica solo puede ser entendida bajo la forma de operaciones de traducción que inscriben las mutuas determinaciones de los actores en los intermediarios que ponen en circulación. El “conocimiento” de estas redes implica la “lectura” de estas inscripciones.

Callon distingue dos niveles de elementos constitutivos de una red tecno-económica: intermediarios y actores. Las redes están encarnadas en y por “intermediarios”, que son puestos en circulación, en las diversas interacciones de la red. Un intermediario es definido como cualquier cosa que pasa de un actor a otro, y que constituye la forma y la sustancia de la relación construida entre ellos. Cada intermediario describe (en el sentido literario del término) y compone (en el sentido de “dar forma”) una red en la cual es el medio y a la cual otorga orden.

Callon distingue diferentes tipos de intermediarios: a) textos: reportes, libros, artículos, patentes, notas; b) artefactos tecnológicos: instrumentos científicos, máquinas, robots, bienes de consumo; c) seres humanos y sus habilidades (*skills*): conocimientos, *know-how*; d) dinero, en todas sus diferentes formas.

El segundo elemento de las redes tecno-económicas son los “actores”, entendiendo por tales a cualquier entidad capaz de asociar los elementos listados, que definen y construyen (con mayor o menor suceso) un mundo poblado de otras entidades, a las que otorgan una historia y una identidad, calificando las relaciones entre ellas. Partiendo del principio de simetría radical, todo intermediario puede ser un actor. Un actor es diferenciado del resto de los intermediarios porque tiene la capacidad de poner en circulación a otros intermediarios.

En las redes tecno-económicas se integran los diferentes actores-red vinculados entre sí. De allí que las explicaciones de procesos de cambio adquieren un carácter ineludiblemente complejo:

El grado en que una entidad es susceptible de modificación es una función del modo en que la entidad en cuestión resume y simplifica una red en relación con otra. Si graficáramos una red usando secuencias de puntos y líneas, deberíamos ver a cada punto como una red que a su vez es una serie de puntos colocados por sus propias relaciones. Las redes se dan fuerza unas a otras (Callon, 1987, p. 96).

En virtud de la acción y efecto de poner en circulación a los intermediarios, los actores se autoconstituyen en actor-red. La operatoria de la puesta en circulación de intermediarios por parte de los actores es planteada a través del concepto de *traducción*. Callon propone una definición funcional-formal del concepto:

La operación de traducción es realizada por una entidad A sobre una entidad B. Ambos, A y B, pueden ser actores o intermediarios, humanos o no-humanos. El postulado "A traduce B" puede tener dos sentidos diferentes. Primero, que A provee a B de una definición. A puede imputar a B ciertos intereses, proyectos, deseos, estrategias, reflexiones o ideas *a posteriori* [...] pero esto no significa que A tiene total libertad. Lo que A realiza o propone es consecuente con un conjunto de series de interjuegos de operaciones de traducción, algunas de las cuales determinan las traducciones al punto de pre-programarlas. La regla general es que un actor traduce a muchos otros, entre quienes establece relaciones. Volviendo a la notación precedente, podemos decir que A traduce a B, C, D y E. [...] Claramente la traducción involucra tres términos: A→I (intermediario)→B (Callon, en este volumen).

A fin de comprender la dinámica interna, el alcance, densidad y estabilidad de las redes tecno-económicas, el concepto de *convergencia* resulta fundamental: el concepto de convergencia refiere el grado de

acuerdo generado por una serie de traducciones y por los intermediarios de todo tipo que operan en ellas.

La convergencia opera en dos aspectos: "alineamiento" y "coordinación".

*Alineamiento*: una red comienza a constituirse tan pronto como por lo menos tres actores A, B y C están alineados (por interpuestos intermediarios). Dos configuraciones básicas posibles en este alineamiento. La primera corresponde a una situación de complementariedad (que resulta de la transitividad de las relaciones: A traduce B, quien traduce C, por lo tanto A traduce C). La segunda de sustituibilidad (A traduce B, quien también es traducido por C, entonces C da una definición de B similar a A). El grado de alineamiento depende del grado de éxito de las traducciones.

*Coordinación*: proceso regulatorio de restricción del universo de actores posibles mediante la organización de las atribuciones y la limitación del número de traducciones estabilizables. Estas formas de coordinación codifican las traducciones. En las redes tecno-económicas, diferentes formas de coordinación pueden funcionar simultáneamente (mercado, confidencialidad, reconocimiento). Cada una de estas formas puede ser vista como un grupo específico de convenciones que definen los regímenes de traducción.

Los análisis en términos de red tecno-económica responden necesariamente al criterio de historicidad empírica de los procesos de cambio tecnológico. Por ello, la conceptualización actor-red resulta refractaria al establecimiento de universales *a priori*. Una teoría actor-red no puede ser universal. La ontología del actor tiene una "geometría variable", y es indisociable de la red que lo define, y a la cual, a su vez, junto con otros actores, contribuye a definir. Así, para Callon, la dimensión histórica deviene una parte necesaria del análisis.

La des-construcción de actividades tecnológicas e institucionales en términos de intermediarios y actores permite "mapear" las acciones consignadas en las fuentes primarias y secundarias de un modo no subordinado a una lógica originaria de producción y lucro, en gene-

ral ligada a abordajes economicistas clásicos. Tanto las instituciones, como los artefactos, las agencias gubernamentales como las fuentes de financiación pueden ser interpretadas a la luz de esta conceptualización. Los aspectos micropolíticos del cambio tecnológico revelados por el concepto de traducción resultan de suma utilidad para describir la dinámica de cambio tecnológico, dando cuenta de las variaciones en la constitución de los actores y las redes que los explican.

Los criterios para distinguir procesos de cambio en las redes son útiles para construir explicaciones de alteraciones en procesos sociales y tecnológicos locales, socio-históricamente situados. El concepto de traducción, dada su ubicuidad, puede ser integrado en distintos planos explicativos, por ejemplo: en la descripción de trayectorias tecnológicas, en el seguimiento de cambios en el proceso de toma de decisiones, en la estructuración institucional, en mecanismos de selección y transferencia de tecnología de los sistemas nacionales de innovación, por ejemplo. El concepto de *grados de convergencia* permite demarcar la cohesión de distintos grupos de actores, a fin de comprender controversias y conflictos de intereses, así como la dinámica derivada de sus resoluciones. La adopción del criterio de simetría radical, finalmente, permite analizar la agencia de “no-humanos” en las dinámicas de cambio tecnológico (normalmente negligenciada por otros abordajes).

Más allá de estas ventajas y potencialidades, el enfoque de redes tecno-económicas también presenta algunos inconvenientes, aún dejando de lado las controversias generadas por la adopción del principio de simetría radical. El alcance de este abordaje, tanto como el anterior de sistemas tecnológicos, padece limitaciones en términos de precisión conceptual y caracterización de procesos de permanencia y cambio.

El bagaje conceptual del abordaje en términos de sistema tecnológico resulta excesivamente restringido para la explicación de procesos de cambio tecnológico, en particular, de procesos singulares a escala artefactual. No proveen un conjunto específico de conceptos para analizar cómo los diversos actores interactúan con la tecnología, cómo la evalúan y en qué dirección proponen el cambio tecnológico:

El abordaje ofrece pocas herramientas conceptuales para ayudarnos a comprender cómo los actores van tomando formas características de interactuar con la tecnología. Todo lo que establece Callon es que los actores pueden traducir otros actores e intermediarios (los cuales pueden ser artefactos tecnológicos). [...] Esto genera problemas a la hora de definir factores que guían a los actores (Elzen *et al.*, 1996, p. 100).

Si bien las redes tecno-económicas permiten superar el problema de la distinción topológica entorno-sistema (Callon, en este volumen), implican el surgimiento de una nueva dificultad metodológica para la operacionalización del concepto en investigaciones de base empírica. ¿Cómo delimitar el alcance topológico del análisis? ¿Cuál es el alcance de la red? En la práctica, la cuestión puede ser resuelta de dos maneras: a) por saturación (con un alto costo en términos de exploración y detección de redundancias), b) arbitrariamente (por decisión del analista).

En particular, si bien la “historicidad” de los procesos de configuración y estabilización de las redes tecno-económicas es destacada, en la práctica esta dimensión se restringe a la declaración de “no universalidad” de las redes, a su carácter socio-históricamente situado.

Así, como en el caso de los grandes sistemas tecnológicos, la noción de redes tecno-económicas resulta particularmente útil para la reconstrucción analítica de relaciones sincrónicas, pero supone problemas a la hora de dar cuenta de relaciones diacrónicas. Una vez más, el problema es resuelto, en la práctica, por sucesión de estados de la red, en movimientos de alineamiento y coordinación, o cambios en los grados de convergencia, o por el seguimiento de procesos de cambio parciales. Pero la teoría no explicita los criterios a aplicar en este sentido, ¿cómo establecer continuidades? ¿Cómo diferenciar fases?

Así como la noción de constructor de sistema tiende a condensar las decisiones en un restringido grupo de actores, en abordaje actor-red supone el riesgo de disolver el poder en el complejo entramado de las interacciones de red y sus traducciones.

En tanto los “mapas” de los procesos de cambio tecnológico construidos por esta vía constituyen normalmente ricas descripciones,

normalmente fracasan a la hora de construir explicaciones. O, en otros términos, si bien el abordaje es útil para describir cómo ocurrieron las cosas, presenta dificultades a la hora de explicar por qué ocurrieron así, y no de otra manera.

Una vez más, dado que la única unidad de análisis es la red tecno-económica, este abordaje analítico también presenta problemas a la hora de operacionalizar análisis de base empírica. Si bien presenta una ventaja de posible recorte de objetos analíticos de escala o alcance (*scope*) variable (un proceso de innovación, un proyecto tecnológico, un desarrollo singular), el objeto de análisis es, siempre, la propia red tecno-económica.

#### Abordaje en términos de constructivismo social de la tecnología

Al igual que los abordajes anteriores, el constructivista social de la tecnología (en inglés: *Social Construction of Technology*, SCOT) apunta a describir y explicar las relaciones socio-técnicas en términos de la metáfora del “tejido sin costuras”. En un ejercicio de “reflexividad”, intenta que las herramientas analíticas no traicionen la posición epistemológica respecto del objeto:

Los conceptos teóricos requeridos deben ser tan heterogéneos como las actividades de los actores y tan “sin costura” como el tejido sobre el cual estos conceptos deben ser aplicados [...] Nuestro marco conceptual no debe compelemos a realizar ninguna distinción *a priori* acerca del carácter social, tecnológico o científico de los patrones específicos que harán visibles para nosotros (Bijker, 1993, p. 121).

En el marco de este abordaje se ha desarrollado una serie de conceptos, que no solo tienen valor individualmente, sino que se integran en un diseño de características micro-macro, que conduce la investigación, en diferentes niveles de definición de los objetos de estudio, desde los artefactos hasta unidades socio-técnicas complejas. A continuación se describen estos conceptos.

#### Grupos sociales relevantes y flexibilidad interpretativa

El constructivismo social toma de la sociología del conocimiento científico el concepto de *grupo social relevante*. Siguiendo una vía de análisis relativista (iniciada por Harry Collins), el concepto de grupos sociales relevantes es reconocido por Pinch y Bijker como una categoría de los actores. Aunque los actores generalmente no usan estas palabras, ellos emplean activamente este concepto para ordenar su mundo. Así, una proposición crucial en el desarrollo del modelo de tecnología del constructivismo social es que el grupo social relevante es también una importante categoría de análisis (Bijker, 1995).

La detección y seguimiento de los grupos sociales relevantes constituye un aspecto crucial y punto de partida del primer nivel agregación del análisis de los procesos de cambio socio-técnico. El desarrollo tecnológico es visto como un proceso social, no como un proceso autónomo. Los grupos sociales relevantes son los portadores (*carriers*) de ese proceso.

[...] el mundo tal como existe para esos grupos relevantes es un buen lugar para que el analista inicie su investigación. [...] La racionalidad básica de esta estrategia es que solo cuando un grupo social es explicitado en algún lugar del mapa se genera un sentido que lleva al analista a tomar el hecho en consideración (Bijker, 1995, p. 48).

Los grupos sociales relevantes constituyen a los artefactos. Des-construir esos artefactos de acuerdo con las diferentes perspectivas de los distintos grupos sociales relevantes es una operación clave del análisis constructivista: tomar a los artefactos tal como son vistos por los grupos sociales relevantes. En este abordaje analítico-descriptivo, los sentidos atribuidos a los artefactos por los diferentes actores relevantes constituyen al artefacto.

Los diferentes grupos sociales relevantes atribuyen distintos sentidos a los artefactos. A partir de esta multiplicidad de visiones, socialmente situadas, aparecen tantos artefactos como visiones de los

mismos. El concepto de *flexibilidad interpretativa* fue generado para dar cuenta de esta multiplicidad. Aun cuando pueda tratarse del mismo objeto, la flexibilidad interpretativa “explica” la existencia de distintos artefactos:

Los grupos sociales relevantes no ven simplemente los diferentes aspectos de un artefacto. Los sentidos otorgados por un grupo social relevante “constituyen” el artefacto. Hay tantos artefactos cuanto diferentes grupos sociales relevantes, no hay artefactos no constituidos por grupos sociales relevantes (Bijker, 1995, p. 77).

Mediante la aplicación del concepto de flexibilidad interpretativa de un artefacto es posible mostrar que una “cosa” aparentemente no-ambigua (un proceso técnico, una condición material del metal, etc.) es mejor comprendida al ser considerada como diferentes artefactos. Cada uno de estos artefactos, “oculto” dentro de la misma “cosa”, puede ser rastreado (*traced*) a fin de identificar los sentidos atribuidos por los diferentes grupos sociales relevantes.

Los artefactos son diseñados para satisfacer diferentes criterios. Son vendidos, comprados y usados para diferentes propósitos, son evaluados por diferentes estándares. No existe un criterio universal –independiente del tiempo y la cultura– para definir si un artefacto “funciona” o “no funciona”. Para Bijker, el “funcionamiento” o “no-funcionamiento” de un artefacto es una evaluación socialmente construida, antes que una derivación de las propiedades intrínsecas de los artefactos.

La construcción social del “funcionamiento” de un artefacto aparece como una extensión del principio de simetría de David Bloor. Constituye una operación análoga a argumentar que la “Naturaleza” no puede desempeñar el papel de *explanans*, en el sentido enunciado por Bloor (1973, 1976) en su Programa Fuerte: la “Naturaleza” no puede ser invocada para explicar la verdad de las creencias científicas, ni específicas circunstancias sociológicas pueden ser invocadas exclusivamente para explicar la falsedad de las creencias científicas. Este

“principio de simetría” sostiene la imparcialidad respecto de la verdad o falsedad de las creencias científicas por parte de los sociólogos que analizan los desarrollos científicos.

A través del concepto de flexibilidad interpretativa, Pinch y Bijker (1984) extienden el principio de simetría para argumentar que el “funcionamiento” de las máquinas debe ser analizado simétricamente. El funcionamiento de una máquina no debe ser considerado como el *explanans* sino como el *explanandum*: “El funcionamiento de una máquina no debe ser considerado como la causa de su éxito sino como el resultado de haber sido aceptada por grupos sociales relevantes” (Bijker, 1993, p. 119).

La construcción social de un artefacto es resultado, para Bijker, de dos procesos combinados: “clausura” y “estabilización”. O tal vez sería más adecuado plantear que son dos aspectos del mismo proceso. El proceso de clausura implica que la flexibilidad interpretativa de un artefacto disminuye. Surge consenso entre los diferentes grupos sociales relevantes acerca del sentido dominante de un artefacto, y el “pluralismo” de los artefactos decrece. El grado de estabilización es una medida de la aceptación de un artefacto por parte de un grupo social relevante. Cuanto más homogéneos sean los sentidos atribuidos a un artefacto, mayor será el grado de estabilización.

Los procesos de clausura y estabilización aparecen como dos perspectivas que iluminan diferentes apariencias de un mismo fenómeno: a) la clausura lleva a una disminución de la flexibilidad interpretativa –un artefacto deviene dominante y los otros cesan de existir–, b) como parte del mismo movimiento, el artefacto dominante desarrollará un creciente grado de estabilización en uno o más grupos sociales relevantes (Bijker, 1995).

### *Marco tecnológico*

El concepto *marco tecnológico* es propuesto por el constructivismo como un concepto teórico-analítico (no del plano de los actores), que intenta dar cuenta de la complejidad del objeto de análisis. La intro-

ducción del concepto de marco tecnológico ofrece la posibilidad explicativa de superar la dicotomía sociedad-tecnología.

El marco tecnológico pasa a ser –en un segundo nivel de agregación– la nueva unidad de análisis primaria del marco teórico constructivista, sustituyendo al “artefacto”. Dada la naturaleza del intento, dejar que el objeto continuara siendo “la tecnología” o “los artefactos” hubiera implicado el riesgo continuar reproduciendo la dicotomía sociedad-tecnología. El concepto ofrece diversos planos de respuesta-solución a este problema: a) *un marco tecnológico es heterogéneo, en el sentido de que no se refiere excluyentemente a un dominio cognitivo o social*. Entre los componentes de un marco tecnológico se encuentran tanto artefactos ejemplares como valores culturales, tanto objetivos como teorías científicas, protocolos de testeo o conocimiento tácito.

b) *Los marcos tecnológicos no son entidades fijas* –son desarrollados como parte de los procesos de estabilización de un artefacto. Su carácter interactivo los hace conceptos intrínsecamente dinámicos. Un marco tecnológico no reside internamente en individuos o externamente en la Naturaleza –es externo al individuo, pero interno al conjunto de interacciones individuales en los grupos sociales relevantes. Por lo tanto, un marco tecnológico *necesita ser sostenido continuamente por interacciones*, y sería sorprendente que sus características permanecieran sin cambios.

c) *Los marcos tecnológicos proveen los objetivos, los pensamientos, las herramientas de acción*. Un marco tecnológico ofrece tanto los problemas centrales como las estrategias orientadas a resolverlos. Pero, al mismo tiempo, al desarrollarse un marco tecnológico se restringirá la libertad de los miembros de los grupos sociales relevantes. La estructura generada por interacciones restringirá las interacciones siguientes. Dentro de un marco tecnológico no todo es posible (aspecto centrado en la estructura) pero las restantes posibilidades serán más claras y factibles para todos los miembros del grupo social relevante (aspecto centrado en el actor).

A diferencia de otros análisis sociológicos de la tecnología, donde la di-

mensión política es poco analizada, o delegada a análisis secundarios, el abordaje constructivista toma explícitamente la dimensión “poder” como un nivel de agregación de las relaciones previamente planteadas en el plano de los grupos sociales relevantes y sus interpretaciones de los artefactos, en primera instancia, y de la dinámica interna de los marcos tecnológicos, en segundo término. La dimensión política aparece como el tercer nivel de análisis del planteo constructivista.

Para hacerlo, Bijker adoptó (de Giddens, 1979) una definición de poder acorde con la dinámica global de su marco teórico. Así, *poder* es definido como la capacidad de transformar a su servicio la agencia de otros para satisfacer sus propios fines. Poder, por lo tanto, “es un concepto relacional que concierne la capacidad de los actores de asegurar resultados, cuando la realización de estos depende del agenciamiento de otros” (Giddens, 1979, p. 93). El poder es ejercido antes que poseído, es ubicuo y se encuentra presente en todas las relaciones e interacciones.

Al tomar al poder como una capacidad resulta viable analizar a las interacciones como gobernadas por algo más que estrategias conscientes (Bijker, 1995, p. 262). El abordaje socio-técnico constructivista extiende “a agencia de otros” a fin de incluir la agencia de máquinas, así como la de actores humanos, dado que las tecnologías pueden ser instrumentalizadas para realizar ciertos objetivos. Esta dimensión política aparece, en la dinámica socio-técnica, en el plano de constitución de los marcos tecnológicos. Poder es el orden aparente de categorías de existencia tomadas por garantidas, fijadas y representadas en los marcos tecnológicos. “Este poder semiótico forma el lado estructural de mi moneda del poder. Las micropolíticas del poder describen el otro lado: cómo una variedad de prácticas transforma y estructura las acciones de los actores, constituyendo una forma particular de poder” (Bijker, 1995, p. 263).

Poder semiótico y micropolítica del poder están inextricablemente vinculados: las micropolíticas resultan en específicas estructuras semióticas, en tanto el poder semiótico influencia las estructuras micropolíticas.

La dimensión del poder se evidencia en los procesos de “clausura” y “estabilización”. Los procesos de clausura, donde disminuye la flexibilidad interpretativa de un artefacto y se fija su sentido, pueden ser interpretados como el primer paso en la constitución de poder semiótico, resultado de una multitud de micropolíticas para fijar sentidos. En el subsecuente proceso de estabilización aparecen más interacciones que fijan más elementos dentro de la estructura semiótica. Un marco tecnológico restringe las acciones de los miembros de un grupo social relevante y ejerce poder a través de la fijación de sentidos de los artefactos; este es el aspecto semiótico de la nueva concepción del poder. Un marco tecnológico habilita a sus miembros proveyendo estrategias problema-solución, teorías y prácticas de testeo, por ejemplo, las que forman el aspecto micropolítico del poder.

Dentro de un marco tecnológico, la característica interactiva del poder regula la actuación de los diferentes grupos sociales relevantes y de sus respectivos miembros. En términos del discurso de poder, es posible decir que los marcos tecnológicos representan cómo es distribuida la discrecionalidad de quienes hacen qué, cuándo, dónde y cómo a objetos y actores. Un marco tecnológico es al mismo tiempo constituido por las interacciones de los miembros de los grupos sociales relevantes, y resulta en disciplinamiento de los miembros de esos grupos. Hace esto de diversas formas: restringe la libertad de elección para el diseño de nuevas tecnologías; habilita para el trabajo de desarrollo o, más en general, delimita la posibilidad de interacción de los actores. Un sistema de patentes es analizable, por ejemplo, como una forma específica de emplear la propiedad intelectual como una estrategia de poder.

### *Ensamble socio-técnico*

En el tercer plano de agregación del marco teórico del abordaje constructivista aparece con mayor claridad la dimensión interactiva y no-lineal de la propuesta constructivista. En este tercer nivel de agregación, los *ensambles socio-técnicos* devienen la nueva unidad de aná-

lisis (sustituyendo a los artefacto, correspondientes al primer nivel, y ampliando los horizontes de los marcos tecnológicos del segundo nivel, a una escala social más amplia y abarcativa), pues lo “socio-técnico” no es meramente una combinación de factores sociales y tecnológicos, sino algo *sui generis*. La sociedad no es determinada por la tecnología, ni la tecnología es determinada por la sociedad. Ambas emergen como dos caras de la moneda socio-técnica durante el proceso de construcción de artefactos, hechos y grupos sociales relevantes (Bijker, 1993).

Dentro de un ensamble socio-técnico es posible incluir diferentes marcos tecnológicos en acción. Las dinámicas internas de los ensambles pueden estar determinadas por las distintas relaciones planteadas entre los diferentes marcos tecnológicos. En un análisis estilizado, pueden distinguirse tres configuraciones de ensambles socio-técnicos: cuando ningún marco tecnológico dominante orienta claramente las interacciones, cuando un marco tecnológico es dominante, y cuando varios marcos tecnológicos son importantes al mismo tiempo para entender las interacciones del ensamble socio-técnico estudiado. En cada una de estas configuraciones es posible encontrar diferentes procesos de cambio tecnológico (Bijker, 1993, pp. 128-129).

Primera configuración: no aparece un grupo efectivo de intereses establecidos. Bajo tales circunstancias si los recursos necesarios son accesibles para una diversidad de actores, habrá varias innovaciones. Muchas de estas innovaciones podrán ser radicales. Más que en otras configuraciones, el éxito de una innovación dependerá de la formación de una *constituency*, un grupo que adopte el marco tecnológico emergente.

Segunda configuración: un grupo dominante es capaz de sostener su definición de problemas y soluciones apropiadas. Bajo tal situación monopolista las innovaciones tienden a ser convencionales. Los problemas pueden derivarse de fallas funcionales y las soluciones son juzgadas en términos de su adecuación a dichas fallas.

Tercera configuración: cuando hay dos o más grupos compitiendo con marcos tecnológicos divergentes, los argumentos de peso a favor de unos pueden ser poco relevantes para otros. Bajo tales cir-

cunstancias, criterios externos a los marcos tecnológicos en cuestión (como, por ejemplo, reclamos de terceras partes: otros usuarios, grupos ecologistas) pueden resultar importantes en la orientación de los grupos sociales. Normalmente, serán buscadas las innovaciones que admitan la fusión de los diversos intereses establecidos.

Como los abordajes anteriores, la propuesta constructivista permite integrar en una única explicación no-lineal la complejidad de la dinámica de cambio tecnológico. T. J. Pinch y B. E. Bijker realizaron sus investigaciones para “demostrar” la pertinencia de su aparato conceptual, y, a tal fin, siguieron un itinerario inductivo, que los llevaba desde los artefactos singulares a fenómenos sociales inclusivos. Los conceptos constructivistas son utilizados para analizar una tecnología en particular, o un marco tecnológico aislado: detección de algunos grupos sociales relevantes que determinan cambios en la dinámica de cambio tecnológico, diferenciación de interpretaciones según estos diferentes grupos, descripción de procesos de estabilización de esas interpretaciones.

El abordaje constructivista presenta diversas limitaciones conceptuales y metodológicas, más allá de las críticas generadas tanto desde el abordaje actor-red como desde otras matrices teóricas:<sup>2</sup> en tanto la noción de “flexibilidad interpretativa” resulta de suma utilidad para describir procesos de tema de decisión y adjudicación de prioridades y valores, el abordaje relativista resulta deficitario a la hora de describir procesos de cambio:

[...] aparecen problemas cuando el sentido atribuido a un artefacto tecnológico por un grupo social relevante cambia. Los grupos sociales relevantes (o, más precisamente, los marcos tecnológicos) deben ser analizados dinámicamente. El abordaje CST [construcción social de la tecnología] no ofrece ninguna herramienta para hacerlo. [...] No solo los miembros de un grupo social relevante determinan cómo un actor

<sup>2</sup> Para una revisión de las principales críticas que recibió el abordaje constructivista, y sus correspondientes respuestas, véase Pinch (1997).

interactúa con un artefacto, sino que también existen patrones de interacción en los cuales otros actores juegan papeles importantes (Elzen *et al.*, 1996, p. 100).

La reconstrucción de los diferentes sentidos asignados a los artefactos por distintos grupos sociales relevantes supone, en investigaciones de base empírica, no pocas dificultades metodológicas. En particular, en estudios históricos que no cuentan con la posibilidad de entrevistar a los actores.

El abordaje no ofrece la posibilidad de considerar cambios en la integración y procesos de asignación de sentido por parte de los grupos sociales relevantes a lo largo del tiempo, derivando finalmente en análisis identitarios estáticos. Esto normalmente se ve reforzado por la tendencia a considerar a grupos socialmente diferenciados (diseñadores, ingenieros, usuarios, empresarios, científicos, por separado) como grupos sociales relevantes integrados de manera homogénea, confundiendo la aplicación del criterio de flexibilidad interpretativa.

Si bien el conjunto de conceptos acuñados por el abordaje constructivista resulta de utilidad para dar cuenta de fenómenos simultáneos (o sincrónicos), presenta, una vez más, una clara limitación para describir y analizar procesos de cambio tecnológico en tanto fenómenos diacrónicos.

La identificación de los procesos de clausura y estabilización genera una ilusión de proceso monolítico. En la práctica, por una parte, pueden encontrarse procesos de estabilización sin clausura (por ejemplo, tensiones entre diferentes marcos tecnológicos sostenidas en el tiempo, en diferentes regiones), por otra, es posible relevar situaciones donde la clausura temporaria del funcionamiento de un artefacto no implica la existencia de flexibilidad interpretativa (por ejemplo, un mismo artefacto estabilizado puede “funcionar” de diferentes modos para distintos “grupos sociales relevantes”).

Si bien el abordaje constructivista dispone de herramientas conceptuales para incorporar la dimensión política en sus diversas formas (micropolítica, *policy*, *politics*, legislación y regulaciones, etc.), el ter-

cer nivel de agregación, el ensamble socio-técnico, aparece insuficientemente desarrollado en términos conceptuales. En la práctica, esto problematiza tanto los análisis en gran escala, como la superación de la dimensión micro (por ejemplo, unidades de análisis de escala análoga a los grandes sistemas tecnológicos).

A pesar de su intención dinámica, el abordaje constructivista resulta estático: representa un momento estable de un sistema de interacciones. La temporalidad –historicidad de los marcos tecnológicos y los ensamblajes socio-técnicos– solo es representable mediante una sucesión de modelizaciones, tantas como estabilizaciones son detectadas. Pero, a diferencia de otros abordajes, sí permite identificar y analizar momentos de desestabilización y cambio en la orientación general de las interacciones, y de alteración en las dinámicas de cambio tecnológico.

## 2. CONCEPTUALIZACIONES DE LA ECONOMÍA DEL CAMBIO TECNOLÓGICO

El potencial explicativo de la convergencia entre las conceptualizaciones generadas en las matrices teóricas de la sociología de la tecnología y la economía del cambio tecnológico ha sido enunciado en numerosas oportunidades. Sin embargo, hasta la fecha son escasos los esfuerzos explícitos en la revisión concreta de los conceptos “económicos”, y la exploración de su capacidad de compatibilidad y convergencia. El desarrollo de la conceptualización de Michel Callon puede ser leída como una iniciativa de aproximación y negociación. Aunque tal vez la tentativa más explícita y significativa en este sentido sea el artículo “Cruzando fronteras: un diálogo entre tres formas de comprender el cambio tecnológico”, de Henrik Bruun y Janne Hukkinen (en este volumen). El análisis de algunos de los conceptos generados en la matriz “economía del cambio tecnológico” posiblemente permita evidenciar este potencial de compatibilización, así como sus condicionantes y factibilidad. Revisemos los conceptos de *aprendizaje* y *trayectoria* desde esta perspectiva.

## Procesos de aprendizaje

Desde la concepción neoschumpeteriana, el cambio tecnológico implica importantes procesos de aprendizaje de tipo acumulativo: el “aprendizaje por la práctica” (*learning by doing*) –por ejemplo, aumentar la eficacia de los factores de producción– (Arrow, 1962), el “aprendizaje por el uso” (*learning by using*) –por ejemplo, utilizar más eficazmente sistemas complejos– (Rosenberg, 1982), y el “aprendizaje por interacción” (*learning by interacting*) –por ejemplo, asociando usuarios y productores en una interacción que supone innovaciones en producto, proceso u organización– (Lundvall, 1985 y 1995). A estos tipos de aprendizaje se han agregado otros. Resultan de particular interés, para este trabajo, las operaciones de aprender aprendiendo (*learning by learning*) (procesos donde el aprendizaje previo facilita el futuro).

Las instituciones de investigación y las empresas representan la base institucional de esos procesos de aprendizaje. Evolucionistas y neoschumpeterianos consideran que el carácter acumulativo del proceso de cambio tecnológico e innovación (asociado a los procesos de aprendizaje) implica una ventaja para aquellas instituciones en las que se haya realizado esta acumulación. Las empresas, instituciones y países que hayan tenido la ocasión de adquirir las calificaciones requeridas y de crear la base necesaria para el aprendizaje acumulativo tendrán mayor capacidad para adaptarse en periodos de transición. Si el cambio tecnológico torna obsoletos los equipos y ciertas calificaciones técnicas precisas, no tiene poder para destruir las instituciones o empresas, ni tampoco los conocimientos que se han acumulado en ellas.

Si bien puede considerarse, en este sentido, que el proceso de aprendizaje es irreversible, la acumulación generada puede ser destruida.

No es sino a partir de recortes presupuestarios radicales, malas gestiones o fusiones y adquisiciones realizadas sin tener en cuenta el aprendizaje acumulado en el seno de las organizaciones y firmas en cuestión, que las bases sobre las cuales ha tenido lugar el aprendizaje tecnológico pueden ser destruidas (OECD, 1992, p. 39).

Las diferentes nociones de aprendizaje pueden ser aplicadas en diferentes escalas: actores singulares, instituciones, naciones, regiones. Entender el desarrollo socio-institucional como un proceso de acumulación de capacidades tecnológicas (de producto, de proceso, de organización) es una pieza fundamental del andamiaje teórico del análisis de dinámicas socio-técnicas localizadas: ¿existen estas acumulaciones?, ¿cómo se generaron?, ¿dónde se depositaron esos acervos?, ¿cómo pueden periodizarse esos procesos de acumulación?, ¿qué actores intervinieron?

Las diferentes conceptualizaciones de aprendizaje –y la centralidad de estas operaciones para la comprensión del cambio tecnológico– ya han demostrado su potencial explicativo y su aplicabilidad a diferentes contextos locales. Sin embargo, son aún muy escasas las aplicaciones en análisis sociológicos. Notable, teniendo en cuenta su compatibilidad con abordajes socio-técnicos, en cualquiera de las matrices enunciadas en la sección 1 (en particular, con el abordaje constructivista y su conceptualización de marco tecnológico).

El desarrollo de esta convergencia sería fundamental, por otra parte, para explorar el alcance y caracterización de un fenómeno cognitivo mencionado reiteradamente tanto por economistas como por sociólogos: la generación y acumulación de “conocimiento tácito” (presente no solo en los desarrollos de Nathan Rosenberg, Richard Nelson o Christopher Freeman, sino también en los marcos tecnológicos de Wiebe E. Bijker o en los análisis de controversias de Harry Collins).

### Conceptualizaciones en términos de trayectoria

La importancia atribuida al carácter acumulativo de la tecnología sirve para subrayar el hecho de que para desarrollar y utilizar plenamente nuevas tecnologías son necesarios procesos de aprendizaje largos y complejos. Varios analistas han explorado la naturaleza acumulativa y dinámica del cambio tecnológico, por solo citar algunos ejemplos: G. Dosi (1982a), C. Freeman *et al.* (1982), R. Nelson y S. Winter (1977 y 1982), N. Rosenberg (1976 y 1982). De estas investigaciones surgió la noción de trayectoria.

La utilización, selección y aplicación de tecnologías dependen de un amplio espectro de factores económicos (precios relativos, distribución de ganancias), de valores sociales y de arbitrajes de parte de los principales actores involucrados.

Dos de las conceptualizaciones de trayectorias son normalmente utilizadas en trabajos correspondientes a la matriz teórica “economía del cambio tecnológico”: trayectorias naturales y trayectorias tecnológicas.

*Trayectorias naturales*: proceso de condicionamiento que ejerce todo el mundo físico, mecánico, etc., sobre la actividad de generación de nuevos conocimientos tecnológicos por parte de un establecimiento fabril. Lo que la firma pueda intentar en el futuro está fuertemente condicionado por lo que estaba habilitada a hacer tecnológicamente en el pasado. Este condicionamiento hace que toda etapa de cambio técnico guarde bastante relación con la anterior, exigiendo a cada paso la resolución de problemas similares. Por esto la permanente presencia de señales físicas provenientes de la tecnología originaria no debe minimizarse.

El concepto (acuñado por N. Rosenberg, 1976) se encuentra asociado íntimamente a la idea de la existencia de “cuellos de botella” en los sistemas productivos que demandan o incentivan innovaciones para su superación.

*Trayectorias tecnológicas*: la conceptualización plantea la evolución de una tecnología, en procesos específicos.<sup>3</sup> El concepto (desarrollado por G. Dosi, 1984a y 1988) expresa analíticamente el carácter evolutivo –por saltos y discontinuidades– del desarrollo de nuevas tecnologías innovadoras, y su carácter pervasivo y disruptivo, a medida que se difunden y se utilizan en la producción de bienes y servicios.

Los conceptos de trayectorias naturales y tecnológicas fueron generados pensando casi excluyentemente en innovaciones de producto

<sup>3</sup> Otra posible acepción del término *trayectorias tecnológicas* es: “direcciones del desarrollo tecnológico que son acumulativas y autogeneradas, sin una reiterada referencia al ambiente externo a la firma” (Pavitt, 1984, p. 355).

y proceso, pero presentan dificultades para el análisis de cambios organizacionales en el nivel microinstitucional y, en particular, para comprender dinámicas sociales. En ambos casos, padecen de un problema conceptual clave: su carácter determinista tecnológico (véase MacKenzie, 1992). Esto las torna epistemológicamente incompatibles con teorizaciones generadas bajo el principio de la metáfora de “tejido sin costuras” (*seamless web*).

Otra conceptualización en términos de trayectoria permite albergar distintos tipos de relaciones económicas y sociales, en un grado creciente de generalización, heterogeneidad y complejidad: trayectorias nacionales.

*Trayectorias nacionales*: economistas evolucionistas y neoinstitucionalistas han analizado la relación entre la microeconomía de la tecnología y los sistemas nacionales de producción e innovación. En general todas las corrientes de investigación tienen algunos aspectos en común, entre los que sobresalen los procesos de coevolución de las tecnologías, las organizaciones empresariales y las instituciones.

En el marco de este proceso micro-macro de inclusión, se plantea el concepto *trayectoria nacional*, con el fin de identificar patrones sectoriales o nacionales que puedan interpretarse a partir de algunos aspectos básicos de los procesos de aprendizaje colectivo, de la selección de mercados y de instituciones de ambos niveles (Cimoli y Dosi, 1994). Estas trayectorias permiten identificar patrones tales como: a) las características organizacionales y de conducta específicas afectan el ritmo y la dirección del aprendizaje; b) las características de las instituciones difieren entre los sectores y países, ciertos rasgos tienden a fortalecerse debido a su interacción con el entorno; c) los amplios mecanismos institucionales que rigen las interacciones acentúan la posibilidad de crear modos de aprendizaje colectivos.

Sin embargo, el concepto *trayectoria nacional* supone dos restricciones. Una, metodológica, por restricción de delimitación *a priori* del objeto de análisis: ha sido generado para dar cuenta de análisis a escala de estados-nación, excluyentemente. Otra, explicativa: solo alberga relaciones inter-institucionales, dejando de lado, por limita-

ciones de su definición, una diversidad significativa de actores y fenómenos socio-técnicos, y, en particular, negligenciando el análisis de tecnologías y artefactos. En otros términos, es asimétricamente determinista social.

### 3. NUEVAS CONCEPTUALIZACIONES SOCIO-TÉCNICAS

Toda operación analítica, toda conceptualización, implica inevitablemente la operacionalización de un ejercicio reduccionista. Pero de esto no se deriva, necesariamente, un “empobrecimiento” del análisis. Como plantea W. E. Bijker:

Cuando lo social y lo tecnológico eran dos mundos diferentes eran practicadas dos formas de reduccionismo. El reduccionismo tecnológico asumía que los desarrollos en el mundo de lo social podían ser explicados por lo que ocurría en el tecnológico. El reduccionismo social asumía que lo tecnológico era completamente explicable por lo social. Ambas formas de reduccionismo pueden ser evitadas si las nuevas unidades de análisis son los ensambles socio-técnicos. Si el ideal de explicar no es abandonado, es necesaria alguna forma de reducción. Sin ella la investigación puede recaer en un empirismo indiscriminado. Las posibilidades de contar historias con lucidez o de teorizaciones más formales deberían ser abandonadas. Aún es necesario mucho trabajo para desarrollar nuevas formas de reducción en el dominio de la socio-tecnología (Bijker, 1993, p. 127).

Con el objetivo de complementar las potencialidades de algunas de las conceptualizaciones constructivistas disponibles, y, al mismo tiempo, de subsanar algunos de los inconvenientes previamente señalados, hemos desarrollado una serie de conceptos: dinámicas y trayectorias socio-técnicas, procesos de transducción, estilos socio-técnicos de innovación y cambio tecnológico, resignificación de tecnologías, conocimientos genéricos. Al mismo tiempo, hemos revisado algunas

conceptualizaciones previamente disponibles, como las relaciones “problema-solución”, o los procesos de construcción de funcionamiento y utilidad de las tecnologías, para proponer una reconceptualización en términos de procesos de adecuación socio-técnica.

Lejos de un ejercicio abstracto, estas nuevas conceptualizaciones surgieron en el ejercicio de investigaciones de base empírica, y derivan de los problemas de operacionalización de los abordajes teórico-metodológicos disponibles detectados. Al mismo tiempo, la puesta en práctica de los nuevos conceptos en estas investigaciones permitieron la realización de operaciones de testeo y ajuste.

Estos desarrollos teóricos responden a una estrategia de triangulación entre conceptos correspondientes a matrices teóricas de sociología de la tecnología constructivista y la economía del cambio tecnológico (previamente analizados) con la intención de maximizar su capacidad descriptivo-explicativa.

Al mismo tiempo, suponen la posibilidad de superar las restricciones de las conceptualizaciones previamente revisadas en la sección 1. Dado el carácter de este artículo, solo es posible presentar sintéticamente los conceptos analíticos y algunas de las consecuencias/soluciones de su adopción.

### Dinámicas y trayectorias socio-técnicas

Una *dinámica socio-técnica* es un conjunto de patrones de interacción de tecnologías, instituciones, políticas, racionalidades y formas de constitución ideológica de los actores (Thomas, 1999, 2007; Thomas *et al.*, 2006; Maclaine y Thomas, 2007, Thomas, Versino y Lalouf, 2007). Este concepto sistémico sincrónico permite insertar una forma determinada de cambio socio-técnico (una serie de artefactos, una trayectoria socio-técnica, una forma de relaciones problema-solución, por ejemplo) en un mapa de interacciones.

Una *dinámica socio-técnica* incluye un conjunto de relaciones tecno-económicas y socio-políticas vinculadas al cambio tecnológico, en el nivel de análisis de un “ensamble socio-técnico” (Bijker, 1995),

un gran sistema tecnológico (Hughes, 1983), una red tecno-económica (Callon, en este volumen) o, aún, aunque en este caso sería necesario considerar diferencias conceptuales, un sistema nacional o local de innovación (Nelson, 1993; Lundvall, 1995).

El concepto permite mapear descriptivamente una diversidad de interacciones heterogéneas, y vincularlas en relaciones causales de naturaleza explicativa. Estas dinámicas, estos patrones de interacciones, cambian en el tiempo, en el mismo sentido en que se plantean cambios en modelos de acumulación, o se alteran las lógicas de sistemas socio-políticos.

Se trata de un concepto modular: en la práctica, es posible operacionalizarlo en diferentes escalas y niveles de alcance (*scope*), es posible mapear dinámicas socio-técnicas globales, regionales, nacionales, sectoriales, disciplinarias, entre otras alternativas de recorte analítico.

Una *trayectoria socio-técnica* es un proceso de co-construcción<sup>4</sup> de productos, procesos productivos y organizacionales, e instituciones, relaciones usuario-productor,<sup>5</sup> procesos de *learning*, relaciones problema-solución, procesos de construcción de “funcionamiento” o “no-funcionamiento” de una tecnología, racionalidades, políticas y estrategias de un actor (firma, institución de I+D, universidades, etc.), o, asimismo, de un marco tecnológico (Bijker, 1995) determinado (por ejemplo: tecnología nuclear, siderurgia...) o una *sociotechnical constituency* (Molina, 1989).

Tomando como punto de partida un elemento socio-técnico en particular, por ejemplo una tecnología (artefacto, proceso, organización determinada), una firma, un grupo de I+D, este concepto –de naturaleza eminentemente diacrónica– permite ordenar relaciones causales entre elementos heterogéneos en secuencias temporales.

Este concepto también es de operacionalización modular: es po-

<sup>4</sup> Para diferentes aplicaciones del concepto de co-construcción véase Oudshoorn y Pinch (2003), Vercelli y Thomas (2007a y 2007b), Garrido, Lalouf y Thomas (2007).

<sup>5</sup> El análisis de relaciones *usuario-productor* y *learning by interacting* (Von Hippel, 1976; Lundvall, 1985 y 1988) es compatible con herramientas generadas por la sociología de la tecnología de raíz constructivista (Bijker, 1995).

sible tomar como unidad de análisis desde una unidad discreta (un artefacto singular –tecnológico, jurídico–, un sistema organizacional, una red, una empresa) hasta unidades complejas (sistemas tecnológicos, ciudades, gobiernos, sectores tecno-productivos, países) y reconstruir su proceso de co-construcción socio-técnica en el tiempo y el espacio. Por ello, resulta particularmente apropiado para describir y analizar procesos denominados (desde una perspectiva determinista tecnológica) como difusión, adaptación y transferencia.

Dinámicas y trayectorias son unidades de análisis complementarias, pero no equivalentes. Las dinámicas socio-técnicas son más abarcativas que las trayectorias: toda trayectoria socio-técnica se desenvuelve en el seno de una o diversas dinámicas socio-técnicas y resulta incomprensible fuera de ellas.

Trayectorias y dinámicas son procesos, en algunos casos, direccionados parcialmente por la intención de una pluralidad de actores (gobiernos, empresas, instituciones, tecnólogos o científicos). Pero, a diferencia de los grandes sistemas tecnológicos de Hughes, no responden simplemente a la lógica de organización de un “constructor de sistemas”, de alguien o algo con la capacidad de incorporar en el sistema elementos del entorno, ni se configuran y estabilizan simplemente por la agencia de un actante con capacidad de traducir los intereses de intermediarios. Aunque de hecho es posible identificar en dinámicas y trayectorias socio-técnicas algunos elementos que desempeñan –o tienen la “intención” de desempeñar ese papel–, en la práctica estos procesos son autoorganizados. Una de las funciones centrales del análisis consiste, precisamente, en abrir la “caja negra” de esos procesos de autoorganización.

La incorporación del concepto de *organización* resulta clave para comprender el potencial analítico de trayectorias y dinámicas, o, en otros términos, para dar nombre a la complejidad de estos procesos:

[...] Organización es la disposición de relaciones entre componentes o individuos, que produce una unidad compleja o sistema, dotada de cualidades desconocidas en el nivel de los componentes o individuos. La or-

ganización liga, de modo interrelacional, elementos, o acontecimientos, o individuos diversos, que, a partir de allí, se tornan los componentes de un todo. Garante solidaridad y solidez relativa a estas ligazones, y por lo tanto garante al sistema de una cierta posibilidad de duración a pesar de las perturbaciones aleatorias (Morin, 1987, p. 101).

Las ligazones generadas en el proceso de organización pueden ser mantenidas mediante: dependencias fijas o rígidas; interacciones recíprocas; constituciones de elementos comunes a dos organizaciones asociadas (tornándose subsistemas de la organización constituida); retroacciones reguladoras; comunicaciones informacionales.

La vinculación teórica de trayectorias y dinámicas con el concepto de organización permite replantear las relaciones de causalidad en estos procesos complejos de co-construcción: las relaciones significativas en estos procesos son –predominantemente– endo-causales. La endo y la exo-causalidad son fenómenos de diferente naturaleza (cuadro 1).

Cuadro 1

<i>Endo-causalidad</i>	<i>Exo-causalidad</i>
Local	General
Está ligada a una organización activa singular	Proviene de un juego diverso de fuerzas, no necesaria ni principalmente organizadas
Es marginal, improbable en relación a los determinismos y a las eventualidades exteriores, resiste a esta probabilidad mediante su propia recurrencia	Es estadísticamente probable

Así, trayectorias y dinámicas pueden ser consideradas como construcciones auto-organizadas. Como plantea Debrun:

[...] ciertas organizaciones pueden emerger, desarrollarse, o reestructurarse esencialmente a partir de ellas mismas. No por generación es-

pontánea o “surgiendo del vacío”, sino a partir de lo que ellas ya comienzan a ser, aunque no como consecuencia directa de ese primer estadio [...] Decir que una cosa se auto-organiza es admitir que el surgimiento o transformación de esa cosa, en lugar de ser función de una combinación de un estado anterior de ella con un *input* externo, depende únicamente (o esencialmente) del primer factor (Debrun, 1996, p. XXXIII).

La re-construcción analítica de dinámicas y trayectorias socio-técnicas locales permite superar las limitaciones de enfoques que relacionan, de forma descriptiva y estática, a los “fenómenos” con sus “entornos” (como es usual en numerosas formas de análisis deterministas sociales de la tecnología); y evitar, al mismo tiempo, la realización de “saltos micro-macro” en el análisis (como suele ocurrir al aplicar conceptualizaciones evolucionistas o neo-schumpeterianas). La operatoria, en este sentido, consiste en indagar de qué manera cada objeto analizado se integra en su dinámica (general y sectorial) y trayectoria socio-técnica correspondiente.

Las dinámicas y trayectorias socio-técnicas no son entidades de existencia real. No son percepciones en el plano del actor, sino constructos desarrollados por el analista. Metáforas –como los sistemas de Thomas P. Hughes– útiles para reconstruir procesos, articulando causalmente formas de interacción complejas entre elementos heterogéneos.

Dado que tanto las dinámicas como las trayectorias socio-técnicas pueden responder, así, a diferentes criterios de recorte topológico (fronteras nacionales, territorio de “difusión” de una tecnología, región socio-económica), el alcance de estos conceptos no es definible *a priori*, sino en cada ejercicio analítico, de acuerdo con los criterios teórico-metodológicos de cada analista. Trayectorias y sistemas pueden alcanzar –como las redes tecno-económicas callonianas– la extensión diacrónica y sincrónica que determine la evolución del propio ejercicio analítico.

Obviamente, trayectorias y dinámicas socio-técnicas pueden constituir en sí unidades de análisis. El “relleno” teórico-conceptual de

estos constructos analíticos depende de la intención de cada analista. Dada su operacionalidad modular, facilitan la construcción e integración de diversos marcos teóricos, superando la rigidez de abordajes monodisciplinarios o sirviendo de estructuras de soporte para operaciones de triangulación de conceptos. Esta característica permite la compatibilidad de estos conceptos con diferentes abordajes teóricos: sistemas tecnológicos, actor-red, constructivista, neo-schumpeteriano, por ejemplo.

### Proceso de transducción

A la luz de los enfoques constructivistas es imprescindible realizar una revisión crítica de los conceptos de *transferencia* y *difusión*, superando sus restricciones deterministas e identitarias. La conceptualización en términos de transducción permite superar estas limitaciones.

La transducción es un proceso auto-organizado de generación de entidad y sentido que aparece cuando un elemento (idea, concepto, artefacto, herramienta, sistema técnico) es trasladado de un contexto sistémico a otro (Dagnino, Thomas y Gomes, 1999; Thomas, Davyt y Dagnino, 2000; Thomas y Dagnino, 2005).

La inserción de un mismo significante (por ejemplo, un artefacto, un sistema, un dispositivo organizacional, una regulación o ley) en un nuevo sistema (ensamble socio-técnico, sistema local de producción, formación histórico-social) genera la aparición de nuevos sentidos (funciones, disfuncionalidades, efectos no deseados, etc.). Estos nuevos sentidos no aparecen simplemente por la agencia que los diferentes actores ejercen sobre el significante, sino en virtud de la resignificación generada por el particular efecto “sintáctico” de la inserción del significante en otra dinámica socio-técnica.

Es necesario no confundir el concepto con la noción de “traducción” del abordaje “actor-red”, aunque, de hecho, no resulta incompatible con este. Por el contrario, puede ser implementado de manera complementaria.

## Estilo socio-técnico de innovación y cambio tecnológico

El concepto *estilo socio-técnico de innovación y cambio tecnológico* deriva del de *estilo tecnológico* de Thomas P. Hughes (1983). Puede definirse como una forma relativamente estabilizada de producir tecnología y de construir su “funcionamiento” y “utilidad” (Thomas, 1995, 2001; Lalouf y Thomas, 2004).

En tanto herramienta heurística, permite realizar descripciones enmarcadas en la concepción constructivista de las trayectorias y dinámicas socio-técnicas. Supone complejos procesos de adecuación de respuestas tecnológicas a concretas y particulares articulaciones socio-técnicas históricamente situadas: “la adaptación al entorno culmina en estilo” (Hughes, en este volumen).

Un estilo socio-técnico se conforma en el interjuego de elementos heterogéneos: relaciones usuario-productor, sistema de premios y castigos, distribución de prestigio, condiciones geográficas, diversos tipos de aprendizajes, experiencias históricas regionales y nacionales, ideologías, culturas locales, formas de acumulación, etcétera.

Así como las trayectorias y las dinámicas socio-técnicas, los estilos son *constructos* generados por el analista, metáforas de procesos socio-técnicos estabilizados. Asimismo, aunque en numerosas ocasiones existen intervenciones intencionales (criterios de diseño, acciones de planificación, pautas de control, controles de calidad...) que influyen sobre la configuración o adopción de un estilo tecnológico determinado (por ejemplo, “fordismo” o “toyotismo”) se trata de procesos auto-organizados, generados en el marco de cierta trayectoria socio-técnica, en la que encuentran racionalidad, significado y funcionamiento.

## Resignificación de tecnologías

En los diversos análisis de base empírica previamente realizados (Thomas, 1992, 1995b, 1996, 2005), fue posible detectar un fenómeno que parece caracterizar a gran parte de los procesos de innovación y cambio tecnológico desplegados en América Latina. El fenómeno alcanza

tal relevancia y extensión que constituye un elemento fundamental en la configuración de los estilos socio-técnicos locales: la “resignificación de tecnologías”.

Las operaciones de resignificación de tecnología implican la reutilización creativa de cierta tecnología previamente disponible. Las operaciones de resignificación de tecnología no son meras alteraciones “mecánicas” de una tecnología, sino una reasignación de sentido de esa tecnología y de su medio de aplicación. Resignificar tecnologías es refuncionalizar conocimientos, artefactos y sistemas. El conocimiento requerido es –en muchos casos– de la misma índole que el que exige, por ejemplo, la fabricación de la maquinaria original, y es similar en sus condiciones y características a la actividad de diseño básico.

Las operaciones de resignificación de tecnología se sitúan en la interfase entre las acciones sociales de desarrollo tecnológico y las trayectorias tecnológicas de concretos grupos sociales, en el “tejido sin costuras” de la dinámica socio-técnica. Un “estilo tecnológico” solo es realizable dadas ciertas condiciones de interjuego entre las dotaciones tecnológicas (conocimientos, capacidades, artefactos, sistemas), las condiciones sociales, las condiciones político-económicas, las constituciones ideológicas de los actores sociales.

La incorporación del concepto –convergente con las anteriores de trayectoria y estilo socio-técnico– permite revisar desde una perspectiva constructivista los conceptos de *transferencia* y *difusión*. En particular, los procesos de resignificación permiten, por un lado, mapear procesos de rediseño y adecuación de tecnología a condiciones y significados construidos localmente. Por otra, permiten abrir la caja negra de los procesos de construcción local de funcionamiento y utilidad de las tecnologías y percibir, con mayor claridad y detalle las intervenciones de los actores locales.

## Conocimientos genéricos

En la dimensión cognitiva del cambio tecnológico –normalmente menos analizada que la artefactual y la práxica– también tienen lugar

operaciones de resignificación de tecnologías. Algunos conocimientos tecnológicos resignificados, en particular, son utilizados extensamente en diferentes aplicaciones (diferentes técnicas de diseño, distintos sectores productivos, diferentes artefactos), convirtiéndose en “herramientas” de uso genérico, por ejemplo: formas de modelización, protocolos de simulación, técnicas de testeo.

Es posible definir como *conocimientos genéricos* a aquellos instrumentos de naturaleza cognitiva que, atravesando las fronteras de cierta especificidad disciplinar o tecno-productiva, son aplicados en diversos campos científicos y tecnológicos (Thomas, Versino y Lalouf, 2005; Kreimer y Thomas, 2006; Arancibia y Thomas, 2007). El concepto deriva de la noción de “instrumentos genéricos”, propuesta por Terry Shinn (2000).

Los conceptos de estilo socio-técnico, resignificación de tecnologías y conocimientos genéricos permiten dar cuenta de algunos fenómenos que, si bien son observables en dinámicas de cambio socio-técnico en una diversidad de sociedades, resultan particularmente significativos en trayectorias tecnológicas desplegadas en países subdesarrollados, y desempeñan un papel fundamental en la conformación de estilos socio-técnicos locales.

Es de notar que una parte sustantiva de estos conocimientos genéricos adquiere tal fluidez y ductilidad que tiende a hacerse “conocimiento tácito”: no siempre los actores utilizan estos instrumentos cognitivos de manera explícita y codificada.

### Relaciones problema-solución

Los clásicos abordajes deterministas tecnológicos centraron su justificación de la evolución autónoma de la tecnología en el argumento de la relación problema-solución: “la tecnología evoluciona mediante un mecanismo de resolución de los problemas técnicos de las tecnologías previamente disponible”.

Si bien es necesario superar las restricciones de los abordajes deterministas, resulta como mínimo inadecuado dejar de lado las dinámicas de

resolución de problemas como un aspecto significativo del cambio tecnológico. Parece tanto posible como necesario incorporar las relaciones problema-solución dentro de un abordaje constructivista-relativista.

De hecho, los “problemas” y las relaciones de correspondencia “problema-solución” pueden ser abordados como construcciones socio-técnicas (Thomas y Gianella, 2006; Fressoli, Thomas y Aguiar, 2007). Uno de los errores más usuales en los análisis deterministas es dar por descontados los problemas, como si estos no formaran parte de los procesos socio-técnicos, sino que constituyeran meras cuestiones “naturales”, ínsitas en los artefactos y procesos. Pero así como la naturaleza no está allí, aguardando para ser “descubierta”, tampoco los problemas están allí –metafísicamente suspendidos en el espacio técnico– aguardando a ser identificados y resueltos. Como las soluciones, los problemas tecnológicos (como los sociales, políticos o económicos) constituyen particulares articulaciones socio-técnicas históricamente situadas.

En los procesos de co-construcción de las trayectorias socio-técnicas, la participación relativa del accionar problema-solución condiciona el conjunto de prácticas socio-institucionales, las dinámicas de aprendizaje, la generación de instrumentos organizacionales... y los criterios de identificación y evaluación de problemas.

Obviamente, existe una íntima relación entre los procesos de aprendizaje, de resignificación de tecnologías y las trayectorias socio-técnicas (como ya fuera identificado por Nathan Rosenberg, desde una perspectiva determinista tecnológica). El conocimiento generado en estos procesos problema-solución es en parte codificado y en parte tácito (o solo parcialmente explicitado): signado por prácticas cotidianas, desarrollado en el marco procesos cotidianos y no siempre formales de toma de decisiones.

### Funcionamiento

En las consideraciones de Wiebe E. Bijker (1995), el “funcionamiento” de los artefactos no es algo dado, “intrínseco a las características del artefacto”, sino que es una contingencia que se construye social, tecnológica y culturalmente.

Es necesario complementar el desarrollo teórico de Bijker, dado que cabe la posibilidad de restringir el alcance de los procesos de construcción de funcionamiento a homogéneos procesos sociales de asignación de sentido (en un movimiento reduccionista homogéneamente social). Por el contrario, los artefactos, sus características y condiciones físicas son tan relevantes como la subjetividad de los actores implicados. Simplemente porque no es posible asignar cualquier sentido a cualquier artefacto o sistema. Esto permite, en consecuencia, recuperar la simetría analítica y superar, al menos parcialmente, la denunciada incompatibilidad entre ANT y SCOT.

El “funcionamiento” o “no-funcionamiento” de un artefacto es resultado de un proceso de construcción socio-técnica en el que intervienen, normalmente de forma auto-organizada, elementos heterogéneos: condiciones materiales, sistemas, conocimientos, regulaciones, financiamiento, prestaciones, etc. Supone complejos procesos de adecuación de respuestas/soluciones tecnológicas a concretas y particulares articulaciones socio-técnicas históricamente situadas. Así, el “funcionamiento” o “no-funcionamiento” de los artefactos debe ser analizado simétricamente (Thomas y Kreimer, 2002a y 2002b; Kreimer y Thomas, 2003; Thomas, Fressoli y Aguiar, 2006). El “funcionamiento” de una máquina no debe ser considerado como el *explanans* sino como el *explanandum*. El “funcionamiento” de un artefacto socio-técnico es un proceso de construcción continua, que se despliega desde el mismo inicio de su concepción y diseño. Aún después de cierto grado de “estabilización”, se continúan realizando ajustes y modificaciones que construyen nuevas y diversas formas de “funcionamiento”.

De este modo, es posible abrir nuevos análisis, en los que se vinculan y diferencian momentos de “clausura” y “estabilización” de las tecnologías con procesos de construcción de “funcionamiento”.

#### Adecuación socio-técnica

El concepto *adecuación socio-técnica* integra los desarrollos teóricos previos. La adecuación socio-técnica es un proceso auto-organizado

e interactivo de integración de un conocimiento, artefacto o sistema tecnológico en una dinámica o trayectoria socio-técnica, socio-históricamente situada (Thomas 1994; Thomas y Fliess, 1994; Dagnino y Thomas, 1998; Thomas y Fressoli, 2007).

Los procesos de adecuación socio-técnica permiten abrir la caja negra del “éxito” o “fracaso” de una tecnología, explicar la adopción de un artefacto como un fenómeno socio-históricamente situado, articular los procesos de co-construcción de sistemas tecnológicos y usuarios de tecnologías.

Estos procesos de adecuación integran diferentes fenómenos socio-técnicos: relaciones problema-solución, dinámicas de co-construcción, desarrollo de marcos tecnológicos, *path dependence*, traducciones callonianas, resignificación, estilos tecnológicos.

Los procesos de producción y de construcción social de la utilidad y el funcionamiento de las tecnologías constituyen dos caras de una misma moneda de la adecuación socio-técnica: la utilidad de un artefacto o conocimiento tecnológico no es una instancia que se encuentra al final de una cadena de prácticas sociales diferenciadas, sino que está presente tanto en el diseño de un artefacto como en los procesos de re-significación de las tecnologías en los que participan diferentes grupos sociales relevantes (tecnólogos, usuarios, empresarios, funcionarios públicos, integrantes de ONG, etcétera).

Considerar que el proceso de construcción social del funcionamiento es una de las dimensiones presentes desde el inicio en el proceso de producción de conocimientos permite superar las restricciones de los enfoques lineales *science/technology push* o *demand pull* (investigación básica-investigación aplicada-desarrollo y testeo-producción-mercado) según los cuales existe una autonomización fundamental entre los espacios de producción (al inicio de los procesos de diseño –una cuestión eminentemente tecno-científica) y los de uso social de los conocimientos científicos y tecnológicos (una cuestión de aplicación, *end-of-pipe*).

El funcionamiento-no funcionamiento de una tecnología social deviene del sentido construido en estos procesos auto-organizados

de adecuación/inadecuación socio-técnica. Así, el concepto sustituye con ventaja conceptualizaciones descriptivas estáticas en términos de “adaptación al entorno” o “contextualización”. Obviamente, también permite superar las restricciones de los análisis teleológico-finalistas, desconstruyendo el binarismo de los términos “éxito” o “fracaso”. Resulta, entonces, una conceptualización clave para la superación de problemas teóricos tanto en el análisis como en el diseño e implementación de tecnologías y, aún, de políticas públicas de ciencia, tecnología e innovación.

## CONCLUSIONES

Diversos autores han señalado la inadecuación de la aplicación de conceptos generados para analizar dinámicas de cambio tecnológico de los países desarrollados sobre procesos desplegados en América Latina. El planteo no es simplemente una reivindicación localista (o, en todo caso, no siempre lo es). Por un lado, porque dado el hecho de que muchas de las tecnologías utilizadas en la región no son de origen local, los análisis de las dinámicas tecnológicas se restringieron durante décadas a la revisión de fenómenos de transferencia y difusión. Por otro, porque el alcance descriptivo-explicativo de los conceptos disponibles tendía a ocultar –o ha dejado pasar desapercibidas– relevantes intervenciones y estilos locales (tanto en el plano de la innovación tecnológica como del desarrollo socio-cognitivo).

Finalmente, porque en muchas ocasiones estos análisis seleccionaron asimétricamente solo “casos exitosos” (aquellos que se asimilaban a las situaciones virtuosas descritas por los análisis de autores europeos o norteamericanos de sus propias experiencias) dejando de lado los fracasos, los desarrollos discontinuados, las innovaciones frustradas, los cambios tecnológicos de menor escala, las “adaptaciones” locales. Para explicar esta asimetría bastó, durante mucho tiempo, con explicitar la “condición periférica” de los países de la región, o la presencia de “factores políticos” perturbadores. Se constituyó así una

nueva asimetría, del mismo carácter que la denunciada por Bloor para la sociología de la ciencia de raíz mertoneana: los países centrales producen innovaciones exitosas porque cuentan con los conocimientos y *skills* –el método– para hacerlo, los países latinoamericanos fracasan por cuestiones político-ideológicas.

Los conceptos aquí propuestos están destinados a ampliar las posibilidades de descripción y explicación simétrica de las dinámicas socio-técnicas de la región. Pero esto no implica que sean conceptualizaciones *ad hoc*, de validez restringida a América Latina. Como suele ocurrir tanto en las ciencias exactas como en las sociales, el análisis de fenómenos locales ha abierto la posibilidad de revisar críticamente las teorías disponibles, complementarlas y desarrollarlas más allá de sus primeras configuraciones. Así, los conceptos construidos fueron concebidos como herramientas teóricas, adecuadas a diferentes escenarios.

Claro que, dados los estudios de caso en que fueron utilizados, estos desarrollos conceptuales permitieron comprender un poco mejor por qué las cosas por aquí son como son, y no son de otra manera.

La operacionalización de estos conceptos en el análisis de diversas trayectorias socio-técnicas en investigaciones de base empírica sobre desarrollos tecnológicos latinoamericanos ha permitido constatar la realización de una amplia variedad de operaciones tecnológicas que presentan un diverso grado de creatividad local.

El gradiente de innovación implicado en tales operaciones tecnológicas sugiere la existencia de estilos socio-técnicos de cambio tecnológico e innovación particulares, basados en un conjunto de capacidades acumuladas entre las que se destacan: el uso intensivo de operaciones de resignificación de tecnologías, la operacionalización de conocimientos genéricos, así como la reutilización de *skills*, el establecimiento de relaciones usuario/productor/proveedor específicas, el desarrollo de dinámicas de resolución de problemas y la generación de soluciones no estandarizadas que se concreta, normalmente, en desarrollos hechos a medida (*tailor made*).

El análisis de estas trayectorias socio-técnicas desarrolladas en América Latina ha posibilitado comprender la capacidad local de con-

vertir en dinámica sinérgica condiciones –tanto “favorables” como “desfavorables”– de las dinámicas socio-técnicas, y de este modo observar el alcance de estas prácticas en un rango que ha viabilizado desde la “renovación” de tecnologías “maduras” orientadas a la sustitución de importaciones hasta la participación competitiva en mercados internacionales de bienes conocimiento-intensivos.

Producir y exportar tanto *commodities* como bienes conocimiento-intensivos en países latinoamericanos es –y ha sido– viable, pero no del modo lineal (*science push* o *demand pull*) en que normalmente se han concebido –y fundamentalmente implementado– las políticas de ciencia, tecnología e innovación en los países de la región. Los análisis realizados mediante la aplicación de los conceptos propuestos no solo han permitido encontrar explicaciones de la singularidad de los procesos socio-técnicos locales (algunos aparentemente y/o paradójicamente excepcionales), sino también aportar nuevos elementos de análisis, útiles para un re-diseño –socio-técnicamente adecuado a las dinámicas locales– de políticas de ciencia, tecnología e innovación.

## Referencias bibliográficas

- Aglietta M. y A. Orlean (1982), *La violence de la monnaie*, Paris, Presses Universitaires de France.
- Akrich, M. (1989a), “De la position relative des localités; systèmes électriques et réseaux socio-politiques”, *Innovation et ressources locales*, Paris, Cahiers du Centre d'études pour l'Emploi N° 32, pp. 117-166.
- (1989b), “La construction d'un système socio-technique. Esquisse pour une anthropologie des techniques”, *Antropologie et Société*, 12, (2), pp. 31-54.
- (1989c), “Essay in technosociology: A gazogène in Costa Rica”, en P. Lemonnier (ed.), *Technological Choices: Transformation in material cultures since the Neolithics*, Londres, Routledge, pp. 239-337.
- (1988), “Comment décrire les objets techniques”, *Technique et Culture*, 9, pp. 49-64.
- Akrich, M., y D. Boullier (1989), *Représentation de l'utilisateur final et genèse des modes d'emploi*, Rennes, LARESCETT.
- Akrich, M., M. Callon y B. Latour, (1987), “A quoi tient le succès des innovations”, *Gérer et Comprendre*, 11 y 12, pp. 14-29.
- Alder, K. (1998), “Making Things the Same: Representation, Tolerance and the End of the Ancien Régime in France”, *Social Studies of Science*, 28, (4), pp. 499-545.
- Arancibia, F. y H. Thomas (2007), “Algunas reflexiones sobre el concepto ‘conocimiento tácito’ y su relación con la propiedad intelectual”, presentado en la sesión Intellectual Property and Social Activism: Seeds and Medicine, del XXVII International Congress of Latin American Studies Association (LASA), Montreal, 5 a 8 de septiembre de 2007.
- Archibugi, D. y J. Michie (eds.) (1998), *Trade, Growth and Technical Change*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Arieti, S. (1976), *Creativity: The Magic Synthesis*, Nueva York, Basic Books.
- Arrow, K. (1962), “The Economic Implications of Learning by Doing”, *Review of Economic Studies*, XXIX, (3), pp. 155-173.

- Arthur, B. (1989), "Competing technologies increasing returns and lock-in by historical events", *The Economics Journal*, (99), pp. 116-131.
- Baekeland, L. (1916), "Practical life as a complement to university education. Address of acceptance of the Perkin Medal", *Journal of Metallurgical and Chemical Engineering*, 14, pp. 151-158.
- (1912), "Phenol-formaldehyde condensation products", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 4, (10), pp. 737-743.
- (1909a), "Bakelite, a new composition of matter: Its synthesis constitution, and uses", *Scientific American*, supplement, 68, [1769], pp. 322-323, 342-343.
- (1909b), "Bakelit und Resit? Erwiderng aur Dr. G. Lebach's Veröffentlichung über Resinit", *Zeitschrift für Angewandte Chemie*, 22, (41), pp. 2006-2007.
- (1909c), "The synthesis constitution and use of Bakelite", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 1, (3), pp. 149-161.
- (1909d), "On soluble fusible resinous condensation products of phenols and formaldehyde", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 1, (6), pp. 345-349.
- (1907a), "Condensation product of phenol and formaldehyde and method of making the same", patente estadounidense N° 942700.
- (1907b), "Method of making products of phenol and formaldehyde", patente estadounidense N° 942699.
- Baeyer, A. (1872), "Über die Verbindungen der Aldehyde mit den Phenolen", *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, 5, (25-26), pp. 280-282.
- Bailes, K. (1976), "Technology and legitimacy: Soviet aviation and stalinism in the 1930's", *Technology and Culture*, 17, (1), pp. 55-81.
- Barnes, B. (1982a), "The Science-Technology Relationship: A model and a query", *Social Studies of Science*, 12, (1), pp. 166-172.
- (1982b), *T. S. Kuhn and Social Sciences*, Londres, Macmillan.
- (1974), *Scientific Knowledge and Sociological Theory*, Londres, Routledge & Kegan Paul.
- y D. Edge (eds.) (1982), *Science in Context*, Milton Keynes, Open University Press.
- , D. Bloor y J. Henry (1996), *Scientific Knowledge: A Sociological Analysis*, Chicago, University of Chicago Press.
- Beniger, J. (1984), *The Control Revolution*, Cambridge, Belknap Press.
- Bijker, W. E. (1995), *Of Bicycles, Bakelites, and Bulbs*, Cambridge y Londres, The MIT Press.
- (1993), "Do Not Despair: There Is Life after Constructivism", *Science, Technology & Human Values*, 18, (1), pp. 113-138.
- (1984), "Collectifs technologiques et styles technologiques: Eléments pour un modèle explicatif de la construction sociale des artefacts techniques", en Jacot, J. (ed.), *Travailleurs collectifs et relations science-production*, Paris, Editions du CNRS, pp. 113-120.
- y J. Law (eds), (1992), *Shaping Technology/Building Society*, Cambridge y Londres, MIT Press.
- , T. P. Hughes y T. J. Pinch (eds.) (1987), *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*, Cambridge y Londres, MIT Press.
- , J. Bonig y E. van Oost (1984), "The Social Construction of Technological Artifacts", ponencia presentada en la EASST Conference.
- y T. J. Pinch (1983), "La construction sociale de faits et d'artifacts: Impératifs stratégiques et méthodologiques pour une approche unifiée de l'étude des sciences et de la technique", ponencia presentada en el Atelier de recherche (III) sur les problèmes stratégiques et méthodologiques en milieu scientifique et technique, Paris.
- Blomqvist, P. y A. Kaijser (1988), *Den konstruerade världen. Tekniska system i historiskt perspektiv*, Estocolmo, Stehag, Brutus Östlings Bokförlag Symposion.
- Bloor, D. (1999), "Anti-Latour", *Studies in History and Philosophy of Science* 30, (1), pp. 81-112.
- (1976), *Knowledge and Social Imagery*, Chicago y Londres, University of Chicago Press (en español: *Conocimiento e imaginario social*, Barcelona, Gedisa, 1998).
- (1973), "Wittgenstein and Mannheim on the Sociology of Mathematics", *Studies in the History and Philosophy of Science*, 4, (2), pp. 173-191.
- Boczkowski, P. (1996), "Acerca de las relaciones entre la(s) sociología(s) de la ciencia y de la tecnología: pasos hacia una dinámica de mutuo beneficio", *REDES*, 3, (8), pp. 199-228.
- Boltanski, L. y L. Thévenot (1987), *Les économies de la grandeur*, Paris, CEE-PUF.
- Bottler, M. (1924), *Harze und Harzindustrie*, Leipzig, Max Jancke.
- (1919), *Über Herstellung und Eigenschaften von Kunstharzen und deren Verwendung in der Lack- und Firnisindustrie und zu elektrotechnischen und industriellen Zwecken*, Munich, Lehmanns.
- Bourdieu, P. (1980), *Le sens pratique*, Paris, Éd. de Minuit [en español: *El sentido práctico*, Buenos Aires, Siglo XXI].

- Bowker, G. (1989), "What's in a patent", CSI, mimeo.
- Bucchi, M. (2004), *Science in Society. An introduction to Social Studies of Science*, Nueva York, Routledge.
- Bunge, M. (1966), "Technology as applied science", *Technology and Culture*, 7, (3), pp. 329-347.
- Callon, M. (1999), "Actor Network Theory: The Market Test", en Law, J. y J. Hassard, (eds.), *Actor Network Theory and Alter*, (*Sociological Review Monograph*), Oxford y Malden, Blackwell, pp. 181-195.
- (1989), *La science et ses reseaux*, Paris, La Découverte.
- (1987), "Society in the Making: The Study of Technology as a Tool for Sociological Analysis", en Bijker, W. E., T. P. Hughes y T. J. Pinch (eds.), *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*, Cambridge y Londres, MIT Press, pp. 83-103 [en español: "El proceso de construcción de la sociedad. El estudio de la tecnología como herramienta del análisis sociológico", en Doménech, M. y F. Tirado (1998), *Sociología simétrica. Ensayos sobre ciencia, tecnología y sociedad*, Barcelona, Gedisa, pp. 143-170].
- (1986), "Some elements of a sociology of translation: Domestication of scallops and the fishermen of St. Brieuc Bay", en Law, J. (ed.), *Power, Action and Belief: A New Sociology of Knowledge?*, Londres, Routledge & Kegan Paul, pp. 196-233. [en español: "Algunos elementos para una sociología de la traducción: la domesticación de las vieiras y los pescadores de la bahía de St. Brieuc", en Iranzo, J. et al. (coords.) (1995), *Sociología de la ciencia y la tecnología*, Madrid, CSIC, pp. 259-272].
- (1981), "Pour une sociologie des controverses technologiques", *Fundamenta Scientiæ*, 2, (3-4), pp. 381-399.
- (1980a), "The state and technical innovation: A case study of the electrical vehicle in France", *Research Policy*, 9, (4), pp. 358-376.
- (1980b), "Struggles and negotiations to determine to define what is problematic and what is not: The sociology of translation", en Knorr, K., R. Krohn y R. Whitley (eds.), *The Social Process of Scientific Investigation. Sociology of the Sciences*, vol. IV, 1981, D. Reidel Publishing Company, pp. 197-219 [en español, "Luchas y negociaciones para definir qué es y qué no es problemático. La socio-lógica de la Traducción", *REDES*, 12, (23), pp. 103-128].
- (1976), "L'operation de traduction comme relation symbolique", en Roqueplo, P. (ed), *Incidences des rapports sociaux sur le developpement des sciences et des techniques*, Paris, CORDES, pp. 105-141.
- y B. Latour (1992), "Don't Throw the Baby out with the Bath School! A Reply to Collins and Yearley", en Pickering, A. (ed.), *Science as Practice and Culture*, Chicago y Londres, University of Chicago Press, pp. 343-368.
- y B. Latour (1981), "Unscrewing the Big Leviathan: How Actors Macro-Structure Reality and How Sociologists Help Them to Do So", en Knorr-Cetina, K. y A. Cicourel (eds.), *Advances in Sociological Theory and Methodology: Toward an Integration of Micro- and Macro-Sociologies*, Londres, Routledge & Kegan Paul, pp. 277-303.
- y J. Law (1982), "On interests and their transformation: Enrolment and counter-enrolment", *Social Studies of Science*, 12, (4), pp. 615-625.
- , J. Law y A. Rip (1986), *Mapping the Dynamics of Science and Technology*, Londres, Macmillan.
- et al. (1990), "Des outils pour la gestion des programmes technologiques: le cas de l'AFME", en D. Foray (ed.), *L'évaluation économique de la recherche et du changement technique*, Paris, Editions du CNRS, pp. 301-330.
- Cambrosio, A. y C. Limoges (1990), "The controversies over the environmental release of genetically engineered organisms: shifting cognitive and institutional boundaries", mimeo.
- Campbell, D. (1974), "Evolutionary epistemology", en Schliepp, P. (ed.), *The Philosophy of Karl Popper. The Library of Living Philosophers*, vol. 14-1, Lasalle, Open Court, pp. 413-463.
- Carlson, W. (1983), "Elihu Thompson: Man of many facets", *IEEE Spectrum*, 20, (10), pp. 72-75.
- Carton, M. y J.-B. Meyer (org.) (2006), *La société des savoirs. Trompe-l'oeil ou perspectives? The Knowledge Society: Trompe-l'oeil or Accurate Perspective?*, Paris, Editions l'Harmattan.
- Casas, R. y G. Valenti (coords.) (2000), *Dos ejes en la vinculación de las universidades a la producción*, México, IIS-UNAM, UAM-Xochimilco y Plaza y Valdés Ed.
- Casper, M. y A. Clarke (1998), "Making the Pap Smear into the 'Right Tool' for the Job: Cervical Cancer Screening in the UK, Circa 1945-1995", *Social Studies of Science*, 28, (2), pp. 255-290.
- Caunter, C. (1955), *The History and Development of Cycles (As Illustrated by the Collection of Cycles in the Science Museum); Historical Survey*, Londres, HMSO.
- (1957), *The History and Development of Light Cars*, Londres, HMSO.

- Chandler, A. Jr. (1977), *The Visible Hand: The Managerial Revolution in American Business*, Cambridge, Belknap Press.
- (1966), *Strategy and Structure*, Garden City, Doubleday.
- Chandler, C. (1916), "Presentation address of the Perkin Medal to L. H. Baekeland", *Journal of Metallurgical and Chemical Engineering*, 14, pp. 148-151.
- Cimoli, M. y G. Dosi (1994), "De los paradigmas tecnológicos a los sistemas nacionales de producción e innovación", *Comercio Exterior*, 44, (8), pp. 669-682.
- Cockburn, C. y S. Ormrod (1993), *Gender and Technology in the Making*, Londres, Sage.
- Cohendet, P., M. Ledoux y E. Zuscovitch (1987), *Les matériaux nouveaux: dynamique économique et stratégie européenne*, Paris, Económica.
- Collins, H. (1990), *Artificial Experts: Social Knowledge and Intelligent Machines*, Cambridge y Londres, MIT Press.
- (1983a), "An empirical relativist programme in the sociology of scientific knowledge", en Knorr-Cetina, K. y M. Mulkay (eds.), *Science Observed: Perspective on the Social Study of Science*, Beverly Hills, Sage, pp. 85-113.
- (1983b), "Scientific knowledge and science policy: Some foreseeable implications", *EASST Newsletter*, (2), pp. 5-8.
- (1983c), "The sociology of scientific knowledge: Studies of contemporary science", *Annual Review of Sociology*, 9, pp. 265-285.
- (ed.) (1981a), "Knowledge and controversy", *Social Studies of Science*, 11, (1), pp. 3-158.
- (1981b), "The place of the core-set in modern science: social contingency with methodological propriety in science", *History of Science*, 19, (43), pp. 6-19.
- (1981c), "Stages in the Empirical Programme of Relativism", *Social Studies of Science*, 11, (1), pp. 3-10.
- (1975), "The seven sexes: A study in the sociology of phenomenon, or the replication of the experiment in physics", *Sociology*, 9, (2), pp. 205-224 [en español: "Los siete sexos: estudio sociológico de un fenómeno a la replicación de los experimentos en física", en Iranzo, J. et al. (coords.) (1995), *Sociología de la ciencia y la tecnología*, Madrid, CSIC, pp. 141-160].
- y M. Kusch (1999), *The Shape of Actions: What Humans and Machines Can Do*, Cambridge y Londres, MIT Press.
- y S. Yearley (1992a), "Epistemological Chicken", en Pickering, A. (ed.), *Science as Practice and Culture*, Chicago y Londres, University of Chicago Press, pp. 301-329.
- y S. Yearley (1992b), "Journey into space", en Pickering, A. (ed.), *Science as Practice and Culture*, Chicago y Londres, University of Chicago Press, pp. 369-389.
- y T. J. Pinch (1998), *The Golem at Large: What You Should Know About Technology*, Cambridge, Cambridge University Press.
- y T. J. Pinch (1982), *Frames of Meaning: the Social Construction of Extraordinary Science*, Londres, Routledge & Kegan Paul.
- y T. J. Pinch (1979), "The construction of the paranormal: Nothing unscientific is happening", en Wallis, R. (ed.), *On the Margins of Science: The Social Construction of Rejected Knowledge*, Keele, University of Keele, pp. 237-270.
- Constant, E. (1987), "The Social Locus of Technological Practice: Community, System, or Organization?", en Bijker, W. E., T. P. Hughes y T. J. Pinch (eds.), *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*, Cambridge y Londres, MIT Press, pp. 223-242.
- (1984), "Communities and hierarchies: Structure of practice of science and technology", en Laudan, R. (ed.), *The Nature of Technological Knowledge: Are Models of Scientific Change Relevant?*, Dordrecht, Reidel, pp. 27-46.
- (1983), "Scientific theory and technological testability: Science, dynamometers, and water turbines in the 19th century", *Technology and Culture*, 24, (2), pp. 183-198.
- (1980), *The Origins of Turbojet Revolution*, Baltimore, Johns Hopkins University Press.
- Coombs, R., P. Saviotti y V. Walsh (1992), "Technology and the firm: The Convergence of Economic and Sociological Approach", en Coombs, R., P. Saviotti y V. Walsh (eds.), *Technological Change and Company Strategies*, Londres, Harcourt Brace Jovanovich Publishers.
- Coriat, B. (1992a), *El taller y el robot. Ensayos sobre el fordismo y la producción en masa en la era de la electrónica*, México, Siglo XXI editores.
- (1992b), *Pensar al revés. Trabajo y organización en la empresa japonesa*, México, Siglo XXI editores.
- (1985a), *El taller y el cronómetro. Ensayo sobre el taylorismo, el fordismo y la producción en masa*, México, Siglo XXI editores.

- (1985b), *La robótica*, Madrid, Talasa Ediciones.
- y D. Taddei (1995), *Made in France: las nuevas dimensiones de la competitividad*, Buenos Aires, Alianza Editorial, Asociación Trabajo y Sociedad.
- Croon, L. (1939), *Das Fahrrad und seine Entwicklung*, Berlin, VDI-Verlag.
- Crozier, M. y E. Friedberg (1977), *L'acteur et le système. Les contraintes de l'action collective*, Paris, Le Seuil [en español: *El actor y el sistema. Las restricciones de la acción colectiva*, México, Alianza, 1990].
- Dagnino, R. y H. Thomas (orgs.) (2002), *Panorama dos estudos de Ciência, Tecnologia e Sociedade na América Latina*, San Pablo, Cabral-FINEP.
- Dagnino, R. y H. Thomas (1998), "Insumos para um planejamento de C&T alternativo", *Textos Para Discussão*, 25, Departamento de Política Científica e Tecnológica, UNICAMP, pp. 1-32.
- Dagnino, R., H. Thomas y E. Gomes (1999), "Los fenómenos de transferencia y transducción de conceptos como elementos para una renovación explicativa-normativa de las políticas de innovación en América Latina", ALTEC 1999, VIII Seminario Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica, Valencia, CD.
- David, P. (1987), "New standards for the economics of standardization", en Dasgupta P. y P. Stoneman (eds.), *Economic theory and technology performance*, Cambridge University Press, pp. 206-239.
- Debrun, M. (1996), "Prefacio", en Debrun, M., Q. Gonzales y O. Pessoa Jr. (orgs.), *Auto-Organização. Estudos interdisciplinares*, Campinas, Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, UNICAMP, pp. 3-22.
- Deleuze, G. (1989), *Le pli*, Paris, Editions de Minuit [en español: *El pliegue. Leibniz y el barroco*, Barcelona, Paidós].
- (1962), *Nietzsche and Philosophy*, Londres, The Athlone Press [en español: *Nietzsche y la filosofía*, Barcelona, Anagrama, 1971].
- De Solla Price, D. (1969), "The structure of publication in science and technology", Gruber, W. y D. Marquis (eds.), *Factors in the Transfer of Technology*, Cambridge, MIT Press, pp. 91-104.
- De Vries, G. (1995), "Should We Send Collins and Latour to Dayton, Ohio?", *EASST Review*, 14, (4), pp. 3-10.
- Diesel, E. (1953), *Diesel: Der Mensch, Das Werk, Das Schicksal*, Stuttgart, Reclam.
- Dosi, G. (1988), "The Nature of the Innovative Process", en Dosi, G. et al. (eds.), *Technical Change and Economic Theory*, Londres, Pinter, pp. 221-238.
- (1984a), *Technical Change and Industrial Transformation. The Theory and an Application to the Semiconductor Industry*, Londres, Macmillan.
- (1984b), "Technology and conditions of macroeconomic development", en Freeman, C. (ed.), *Design innovation and long cycle in economic development*, Londres, Frances Printer.
- (1982a), "Technological Paradigms and Technological Trajectories: A Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change", *Research Policy*, 11, (3), pp. 147-162.
- (1982b), "Technological Paradigms and Technological Trajectories. The Determinants and Directions of Technological Change and the Transformation of the Economy", en Freeman, C. (ed.), *Long Waves in the World Economy*, Londres, Pinter.
- et al. (eds.) (1988), *Technical Change and Economic Theory*, Londres, Pinter.
- Dubois, J. (1972), *Plastic History USA*, Boston, Cahners.
- Dunlop, J. (1888), "An improvement in tyres of wheels for bicycles, tricycles or other road cars", patente británica N° 10607.
- Dupuy, J. P. (1989), "Convention and common knowledge", *Revue Economique*, vol. 40 (2), pp. 361-400.
- Dutrénit, G., J. Jasso, y D. Villavicencio (eds.), *Globalización, acumulación de capacidades e Innovación: los desafíos para las empresas, localidades y países*, México D. F, FCE /OEI, pp. 384-414.
- Edquist, C. y B.-Å. Lundvall (1993), "Comparing the Danish and Swedish Systems of Innovation", en Nelson, R. (ed.), *National Innovation Systems: A Comparative Study*, Oxford, Oxford University Press, pp. 265-298.
- Elam, M. (1999), "Living Dangerously with Bruno Latour in a Hybrid World", *Theory, Culture & Society*, 16, (4), pp. 1-24.
- Elias, N. (1970), *Was ist Soziologie?*, Munich, Juventa Verlag.
- Elster, J. (1983), *Explaining Technical Change*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Elzen, B. (1986), "Two Ultracentrifuges: A Comparative Study of the Social Construction of Artefacts", *Social Studies of Science*, 16, (4), pp. 621-662.
- (1985), "De ultracentrifuge: op zoek naar patronen in technologische ontwikkeling door een vergelijking van twee case-studies", *Jaarboek voor de Geschiedenis van Bedrijf en Techniek*, 2, pp. 250-278.
- , B. Enserink y W. Smit (1996), "Socio-Technical Networks: How a Technology Studies Approach May Help to Solve Problems Related to Technical Change", *Social Studies of Science*, 26, (1), pp. 95-141.

- Enos, J. (1962), *Petroleum Progress and Profits*, Cambridge, MIT Press.
- Fagerberg, J. (2003), "Schumpeter and the Revival of Evolutionary Economics: An Appraisal of the Literature", *Journal of Evolutionary Economics*, 13, (2), pp. 125-159.
- Ferguson, E. (1974), "Toward a discipline of the history of technology", *Technology and Culture*, 15, (1), pp. 13-30.
- Fleck, L. (1935), *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache: Einführung in die Lehre von Denkstil und Denkkollektiv*, Basilea, Benno Schwabe [en español: *Génesis y el desarrollo de un hecho científico. Introducción a la teoría del estilo de pensamiento y del colectivo de pensamiento*, Madrid, Alianza Editorial, 1986].
- Foray, D. (1989), "Les modeles de compétition technologique: une revue de la litterature", *Revue d'Economie Industrielle*, N° 48, pp. 16-34.
- y C. Freeman (eds.) (1993), *Technology and the Wealth of Nations*, Londres y Nueva York, Pinter.
- Foucault, M. (1976), *The History of Sexuality. Vol. I: The Will to Knowledge*, Londres, Penguin Books [en español: *Historia de la sexualidad. Vol. 1: La voluntad de saber*, México, Siglo XXI editores, 1977].
- (1975), *Discipline and Punish: The Birth of the Prison*, Nueva York, Pantheon [en español: *Vigilar y castigar. El nacimiento de la prisión*, México, Siglo XXI editores, 1976].
- Fox, R. (ed.) (1996), *Technology Change: Methods and Themes in the History of Technology*, Amsterdam, Harwood.
- Fransman, M., G. June y A. Roobeek (eds.) (1995), *The Biotechnology Revolution*, Oxford y Cambridge, Blackwell.
- Freeman, C. (1995), "Technological Revolutions: Historical Analogies", en Fransman, M., G. June y A. Roobeek (eds.), *The Biotechnology Revolution*, Oxford, y Cambridge, Blackwell, pp. 7-24.
- (1994), "Critical Survey. The Economics of Technical Change", *Cambridge Journal of Economics*, 18, (5), pp. 463-514.
- (1977), "Economics of research and development", en Spiegel-Rösing, I. y D. de Solla Price (eds.), *Science, Technology and Society: A Cross-Disciplinary Perspective*, Londres y Berverly Hills, Sage, pp. 223-275.
- (1974), *The Economics of Industrial Innovation*, Harmondsworth, Penguin [en español: *La teoría económica de la innovación industrial*, Madrid, Alianza, 1975].
- y C. Pérez (1988), "Structural Crisis of Adjustment: Business Cycles and Investment Behaviour", en Dosi, G. et al. (eds.), *Technical Change and Economic Theory*, Londres, Pinter, pp. 38-66.
- , J. Clark y L. Soete (1982), *Unemployment and Technical Innovation: A Study of Long Waves and Economic Development*, Londres, Pinter.
- , M. Sharp y W. Walker (eds.) (1991), *Technology and the future of Europe: Global competition and the enviroment in the 1990s*, Londres y Nueva York, Pinter.
- Fressoli, M., H. Thomas y D. Aguiar (2007), "Desarrollo de nuevas tecnologías y estrategias de acumulación de conocimientos. El caso del Tambo farmacéutico", presentado en el Primer Congreso Argentino de Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología, organizado por la Universidad Nacional de Quilmes y la Universidad Nacional de San Martín, Bernal, 5 y 6 de julio de 2007.
- Friedel, R. (1983), *Pioneer Plastic. The Making and Selling of Celluloid*, Madison, University of Wisconsin Press.
- (1979), "Parkesine and celluloid: The failure and success of the first modern plastic", en Hall, R. y N. Smith (eds.), *History of Technology*, vol. 4, Londres, Mansell, pp. 45-62.
- Garrido, S., A. Lalouf y H. Thomas (2007), "Navegación marítima, construcción naval y trata de esclavos entre los siglos XVII y XIX. Análisis socio-técnico de un proceso de co-construcción de artefactos y sociedades", presentado en las XI Jornadas Interescuelas / Departamentos de Historia, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, 19 a 22 de septiembre de 2007.
- Gaffard, J. (1989), "Marche et organisation dans les strategies technologiques des firmes industrielles", *Revue d'Economie Industrielle*, 48, pp. 35-51.
- Gibbs-Smith, C. (1960), *The Aeroplane: An Historical Survey of Its Origin and Development*, Londres, HMSO.
- Giddens, A. (1979), *Central Problems in Social Theory: Action, Structure and Contradiction in Social Analysis*, Houndmills, Macmillan.
- Gille, B. (1978), *Histoire des techniques*, Paris, Gallimard.
- Gillespie, B., D. Eva y R. Johnston (1979), "Carcinogenic risk assessment in the United States and Great Britain: The case of aldrin/dieldrin", *Social Studies of Science*, 9, (3), pp. 265-301.
- Gillfillan, S. (1935), *The Sociology of Invention*, Cambridge, MIT Press.
- Gingras, Y. (1995), "Following Scientists through Society? Yes, but at Arm's Length!", en Buchwald, J. (ed.), *Scientific Practice: Theories and Stories of*

- Doing Physics*, Chicago, University of Chicago Press, pp. 123-48.
- Granovetter, M. (1985), "Economic action and social structure: the problem of embedness", *American Journal of Sociology*, 91 (3), pp. 481-510.
- Grew, W. (1921), *The Cycle Industry, Its Origins, History and Latest Developments*, Londres, Pitman & Sons.
- Gutting, G. (1984), "Paradigms, revolutions, and technology", en Laudan, R. (ed.), *The Nature of Technological Knowledge: Are Models of Scientific Change Relevant?*, Dordrecht, Reidel, pp. 47-65.
- Gyerin, T. y R. Hirsch (1983), "Marginality and innovation in science", *Social Studies of Science*, 13, (1), pp. 87-106.
- Halacsy, A. y G. von Fuchs (1961), "Transformer invented seventy-five years ago", *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers: Power Apparatus and Systems*, 80, (54), pp. 121-125.
- Hanieski, J. (1973), "The airplane as an economic variable: Aspects of technological change in aeronautics, 1903-1955", *Technology and Culture*, 14, (4), pp. 535-552.
- Haraway, D. (1991), *Simians, Cyborgs and Women: the Reinvention of Nature*, Londres, Free Association Books [en español: *Ciencia, cyborgs y mujeres. La reinención de la naturaleza*, Madrid, Cátedra, 1995].
- Healey, P. (1982), "The Research Funding Organization as a Focus for Science Studies", ponencia presentada en las Science Studies Conference, Oxford.
- Heidegger, M. (1977), *The Question Concerning Technology and Other Essays*, Nueva York, Harper & Row [en español: *Conferencias y artículos*, Madrid, Ed. del Serbal, 1994].
- Hellige, H. (1984), "Die Gesellschaftlichen und historischen Grundlagen der Technikgestaltung als Gegenstand der Ingenierausbildung", *Technikgeschichte*, 51, (4), pp. 281-283.
- Hess, D. (1997), *Science Studies: An Advanced Introduction*, Nueva York y Londres, New York University Press.
- Hessen, B. (1931), "The social and economic roots of Newton's *Principia*", en Buharin, N. et al., *Science at the Crossroads*, Londres, Frank Cass, pp. 147-212.
- Heynes, W. (1954), *American Chemical Industry. Vol. 2*, Nueva York, Vannos-trand.
- Hoddeson, L. (1981), "The emergence of basic research in the Bell Telephone System, 1875-1915", *Technology and Culture*, 22, (3), pp. 512-524.
- Hodgson, G. (1999), *Evolution and Institutions: On Evolutionary Economics and the Evolution of Economics*, Cheltenham y Northampton, Edward Elgar.
- Hounshell, D. (1984), *From the American System to Mass Production, 1800-1932*, Baltimore, Johns Hopkins University Press.
- (1975), "Elisha Gray and the telephone: On the disadvantages of being an expert", *Technology and Culture*, 16, (2), pp. 133-161.
- Hughes, T. P. (1986), "The Seamless Web: Technology, Science, etcetera, etcetera", *Social Studies of Science*, vol. 16, (2), pp. 281-292.
- (1983), *Networks of Power: Electrification in Western Society, 1880-1930*, Baltimore y Londres, Johns Hopkins University Press.
- (1979), "Emerging themes in the history of technology", *Technology and Culture*, 20, (4), pp. 697-711.
- (1976), "The science-technology interaction: The case of high-voltage power transmission systems", *Technology and Culture*, 17, (4), pp. 647-659.
- (1971), *Elmer Sperry*, Baltimore, Johns Hopkins University Press.
- (1969), "Technological momentum in history: Hydrogenation in Germany 1898-1933", *Past & Present*, 44, (1), pp. 106-132.
- Hukkinen, J. (1999), *Institutions in Environmental Management: Constructing Mental Models and Sustainability*, Londres, Routledge.
- Hunter, L. (1949), *Steamboats on the Western Rivers: An Economic and Technological History*, Cambridge, Harvard University Press.
- Hyatt, J. (1870), "Improvement in treating and molding pyroxyline", patente estadounidense N° 105338.
- Hyatt, J. (1914), "Address of acceptance of the Perkin Medal", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 6, pp. 158-161.
- Illinois Institute of Technology (1968), *Technology in Retrospect and Critical Events in Science (TRACES)*, Chicago, IIT Research Institute.
- Jelsma, J. y W. Smit (1986), "Risk of recombinant DNA research: From uncertainty to certainty", en Becker, H. y A. Porter (eds.), *Impact Assessment Today*, Utrecht, Van Arkel, pp. 715-741.
- Jenkins, R. (1975), "Technology and the market: George Eastman and the origins of mass amateur photography", *Technology and Culture*, 16, (1), pp. 1-19.
- Jevons, F. (1976), "The interaction of science and technology today, or, is science the mother of invention?", *Technology and Culture*, 17, (4), pp. 729-742.
- Jewkes, J., D. Sawers y R. Stillerman (1969), *The Sources of Invention*, Londres, Macmillan.

- Johnston, R. (1984), "Controlling Technology: An issue for the Social Studies of Science", *Social Studies of Science*, 14, (1), pp. 97-112.
- (1972), "The internal structure of technology", en Halmos, P. (ed.), *The Sociology of Science*, Keele, University of Keele, pp. 117-130.
- Jokisch, R. (ed.) (1982), *Techniksoziologie*, Frankfurt, Suhrkamp.
- Jones, P. (1940), *History of the Consolidated Edison System, 1878-1900*, Nueva York, Consolidated Edison Co.
- Kaldor, M. (1981), *The Baroque Arsenal*, Nueva York, Hill & Wang.
- Katz, M. y C. Shapiro (1986), "Technology adoption in the presence of network externalities", *Journal of Political Economy*, 94, (4), pp. 822-841.
- Katz, M. y C. Shapiro (1985), "Network externalities competition and Compatibility", *American Economic Review*, 75, (3), pp. 424-440.
- Kaufman, M. (1963), *The First Century of Plastics: Celluloid and Its Sequel*, Londres, The Plastic Institute.
- Kessler, H. (1969), *Walther Rathenau: His Life and Work*, Nueva York, Howard Fertig.
- Kleeberg, W. (1891), "Über die Einwirkung des Formaldehyds auf Phenole", *Annalen der Chemie*, 263, pp. 283-286.
- Kline, S. (1985), "Research, invention, innovation, and production: Models and reality", *Research Management*, 28, (4), pp. 36-45.
- Kline, S. y N. Rosenberg (1986), "An overview of innovation", en Landau, R. y Rosenberg, N. (eds), *The positive sum strategy*, Academy of Engineering Press.
- Knoll & Co. (1908), "Verfahren zur Beschleunigung der Erhärtung von Kondensationsprodukten, aus Phenolen und Aldehyden", patente alemana N° 214194.
- (1907), "Improvements relating to the manufacture of resin-like products from phenols and formaldehyde", patente británica N° 28009.
- Knorr-Cetina, K. (2001), "Objetual Practice", en Schatzki, T., K. Knorr-Cetina y E. von Savigny (eds.), *The Practice Turn in Contemporary Theory*, Londres y Nueva York, Routledge, pp. 175-188.
- (1999), *Epistemic Cultures: How the Science Make Knowledge*, Cambridge y Londres, Harvard University Press.
- (1981), *The Manufacture of Knowledge: An Essay on the Constructivist and Contextual Nature of Science*, Oxford, Pergamon [en español: *La producción del conocimiento. Un ensayo sobre la naturaleza constructivista y contextual de la ciencia*, Bernal, Universidad Nacional de Quilmes, 2005].
- y M. Mulkay (eds.) (1983), *Science Observed: Perspective on the Social Study of Science*, Beverly Hills, Sage.
- , R. Krohn y R. Whitley (eds.) (1980), *The Social Process of Scientific Investigation. Sociology of the Sciences Yearbook 4*, Dordrecht, Reidel.
- Koestler, A. (1964), *The Act of Creation*, Nueva York, Macmillan [en español: *El acto de creación*, Buenos Aires, Losada, 1970].
- Kranakis, E. (1982), "The French connection: Giffard's injector and the nature of heat", *Technology and Culture*, 23, (1), pp. 3-38.
- Kreilkamp, K. (1971), "Hindsight and the Real World of Science Policy", *Science Studies*, 1, (1), pp. 43-66.
- Kreimer, P. y H. Thomas (2006), "Production des connaissances dans la science périphérique: une explication du phénomène CANA (connaissance applicable non appliquée)", en Carton, M. y J.-B. Meyer (org.), *La société des savoirs. Trompe-l'oeil ou perspectives? The Knowledge Society: Trompe-l'oeil or Accurate Perspective?*, Paris, Editions l'Harmattan, pp. 143-167.
- Kreimer, P. y H. Thomas (2003), "La construction de l'utilité sociale des connaissances scientifiques et technologiques dans les pays périphériques", en Mignot, J.-P. y Ch. Poncet (eds.), *L'industrialisation des connaissances dans les sciences du vivant*, Paris, L'Harmattan, pp. 29-72.
- Krohn, W., E. Layton y P. Weingart (eds.) (1978), *The Dynamics of Science and Technology-Sociology of the Sciences Yearbook*, vol. 2, Dordrecht, Reidel.
- Kubler, G. (1962), *The Shape of Time: Remarks upon the History of Things*, New Haven, Yale University Press.
- Kuhn, T. (1962), *The Structure of Scientific Revolutions*, [(1970), 2ª ed.], Chicago, University of Chicago [en español: *La estructura de las revoluciones científicas*, México, Fondo de Cultura Económica, 1971].
- Lalouf, A. y H. Thomas (2004), "Desarrollo tecnológico en países periféricos a partir de la cooptación de recursos humanos calificados. Aviones de caza a reacción en la argentina", *Convergencia*, 11, (35), pp. 221-248.
- Langrish, J. et al. (1972), *Wealth from Knowledge*, Londres, Macmillan.
- Latour, B. (1999), "On Recalling ANT", en Law, J. y J. Hassard, (eds.), *Actor Network Theory and After (Sociological Review Monograph)*, Oxford y Malden, Blackwell, pp. 15-25.
- (1993), *Aramis, or the Love of Technology*, Cambridge y Londres, Harvard University Press.
- (1992), *Aramis ou l'amour des techniques*, Paris, La Decouverte.

- (1989), *La science en action*, París, La Decouverte [en español: *La ciencia en acción*, Barcelona, Labor, 1992].
- (1984), *Microbes: guerre et paix, suivi de irréductions*, París, A-M. Métaillé.
- (1983), "Give me a laboratory and I will raise the world", en Knorr-Cetina, K. y M. Mulkey, (eds.), *Science Observed: Perspective on the Social Study of Science*, Beverly Hills, Sage, pp. 141-170 [en español, "Dadme un laboratorio y levantaré el Mundo", disponible en <<http://www.oci.es/salactsi/latour.htm>>].
- y M. Coutouzis (1986), "Le village solaire de Frangocastello: vers une ethnographie des techniques contemporaines", en *L'Anne Sociologique*, 36, pp. 113-168.
- y S. Woolgar (1979), *Laboratory Life. The Social Construction of Scientific Facts*, Londres y Bervely Hills, Sage [en español: *La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos*, Madrid, Alianza, 1995].
- Laudan, R. (ed.) (1984), *The Nature of Technological Knowledge: Are Models of Scientific Change Relevant?*, Dordrecht, Reidel.
- Layton, E. (1978), "Millwrights and engineers", en Krohn, W., E. Layton y P. Weingart (eds.), *The Dynamics of Science and Technology-Sociology of the Sciences Yearbook*, vol. 2, Dordrecht, Reidel, pp. 61-87.
- (1977), "Conditions of Technological Development", en Spiegel-Rösing, I. y D. de Solla Price (eds.), *Science, Technology and Society: A Cross-Disciplinary Perspective*, Londres y Berverly Hills, Sage, pp. 197-222.
- Law, J. (1999), "After ANT: Complexity, Naming and Topology", en Law, J. y J. Hassard (eds.), *Actor Network Theory and After (Sociological Review Monograph)*, Oxford y Malden, Blackwell, pp. 1-14.
- (1991), *A Sociology of Monsters: Essays on Power, Technology and Domination*, Londres, Routledge.
- (1987), "Technology and Heterogeneous Engineering. The Case of Portuguese Expansion", en Bijker, W. E., T. P. Hughes y T. J. Pinch (eds.), *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*, Cambridge y Londres, MIT Press, pp. 111-134.
- (1986), *Power, Action and Belief: A New Sociology of Knowledge?*, Londres, Routledge.
- y J. Hassard (eds.) (1999), *Actor Network Theory and After*, Oxford y Malden, Blackwell.
- y M. Callon (1992), "The Life and Death of an Aircraft: A Network Analysis of Technical Change", en Bijker, W. y J. Law (eds.) (1992), *Shaping Technology/Building Society*, Cambridge y Londres, MIT Press, pp. 21-52.
- y M. Callon (1988), "Engineering and Sociology in a Military Aircraft Project: A Network Analysis of Technical Change", *Social Problems*, 35, (3), pp. 284-297.
- Lazonick, W. (1979), "Industrial relations and technical change: the case of the self-acting mule", *Cambridge Journal of Economics*, 3, (3), pp. 231-262.
- Lebach, H. (1909), "Über Resinit", *Zeitschrift für Angewandte Chemie*, 22, (32), pp. 1598-1601.
- Lederer, L. (1894), "Eine neue Synthese von Phenolalkoholen", *Journal für Praktische Chemie, Neue Folge*, 50, (1), pp. 223-226.
- Lee, N. y S. Brown (1994), "Otherness and the Actor Network: The Undiscovered Continent", *American Behavioral Scientist*, 37, (6), pp. 772-791.
- Lemola, T. (2000), "Evolutionaarinen taloustiede", en Lemola, T. (ed.) (2000), *Näkökulmia teknologiaan*, Helsinki, Gaudeamus, pp. 148-175.
- (ed.) (2000), *Näkökulmia teknologiaan*, Helsinki, Gaudeamus.
- Lenoir, T. (1994), "Was the Last Turn the Right Turn? The Semiotic Turn and A. J. Greimas", *Configurations*, 2, (1), pp. 118-136.
- Leskinen, J. (2000), "Michel Callon ja sosiologinen materialisointi: Tutkimuskohteena teknologian muutoksen dynamiikka", en Lemola, T. (ed.), *Näkökulmia teknologiaan*, Helsinki, Gaudeamus, pp. 176-192.
- Lindqvist, S. (1984), *Technology on Trial: The Introduction of Steam Power Technology into Sweden, 1715-1735*, Upsala, Almqvist & Wiksell International.
- Lundvall, B-Å. (ed.) (1995) [1992], *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*, Londres y Nueva York, Pinter.
- (1988), "Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation", en Dosi, G. et al. (eds.), *Technical Change and Economic Theory*, Londres, Pinter.
- (1985), *Product innovation and user-producer interaction*, Aalborg, Aalborg University Press.
- y B. Johnson (1994), "The Learning Economy", *Journal of Industry Studies*, 1, (2), pp. 23-41.
- Lynch, M. (1985), *Art and Artifact in Laboratory Science: A Study of Shop Work and Shop Talk in a Research Laboratory*, Londres, Routledge and Kegan Paul.

- MacKenzie, D. (1996), *Knowing Machines: Essays on Technical Change*, Cambridge y Londres, MIT Press.
- (1992), "Economic and Sociological Explanation of Technical Change", en Coombs, R., P. Saviotti y V. Walsh (eds.), *Technological Changes and Company Strategies: Economical and Sociological Perspectives*, Londres, Harcourt Brace Jovanovich Publishers.
- (1984), "Marx and the machina", *Technology and Culture*, 25, (3), pp. 473-502.
- (1978), "Statistical theory and social interest: A case-study", *Social Studies of Science*, 8, (1), pp. 35-83.
- y J. Wajcman (eds.) (1985), *The Social Shaping of Technology*, Milton Keynes y Filadelfia, Open University Press.
- Maclaine Pont, P. y H. Thomas (2007), "How grapes came to matter: significations of grapes and technological change", *Universum*, N° 22, vol. 1, pp. 218-234.
- Manasse, O. (1894), "Über eine Synthese aromatischer Oxyalkohole", *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, 27, (2), pp. 2409-2413.
- March, J. (1999), *The Pursuit of Organizational Intelligence*, Malden y Oxford, Blackwell.
- Matthis, A. (1920), *Insulating Varnishes in Electrotechnics*, Londres, John Heywood.
- Mayr, O. (1976), "The Science-Technology Relationship as a Historiographic Problem", *Technology and Culture*, 17 (4), pp. 663-673.
- McCrea, F. y G. Markle (1984), "The estrogen replacement controversy in the USA and UK: Different answers to the same question?", *Social Studies of Science*, 14, (1), pp. 1-26.
- Merz, C. (1908), "Power supply and its effects on the industries of the north-east coast", *Journal of Iron and Steel Institute*, 4.
- Michael, A. (1883-1884), "Action of aldehydes on phenols", *American Chemical Journal*, 5, pp. 338-349.
- Miettinen, R. (1998), "Materiaalinen ja sosiaalinen: Toimijaverkkoteoria ja toiminnan teoria innovaatioiden tutkimuksessa", *Sosiologia*, (1), pp. 28-42.
- Mintzer, I. y A. Leonard (eds.) (1994), *Negotiating Climate Change*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Molina, A. (1989), *The Transputer Constituency. Building up UK/European Capabilities in Information Technology*, Edimburgo, Edinburgh University.
- Morin, E. (1987), *O Método. I. A natureza da natureza*, Portugal, Publicações Europa-América.
- Moya, C. (1990), *The Philosophy of Action: An Introduction*, Cambridge, Polity Press.
- Mowery, D. y N. Rosenberg (1979), "The 'Influence of Market Demand upon Innovation: A critical review of some recent empirical studies", *Research Policy*, 8, (2), pp. 102-153.
- Mulhearn, C. y H. Vane (1999), *Economics*, Houndmills y Londres, Macmillan.
- Mulkay, M. (1979a), *Science and the Sociology of Knowledge*, Londres, Allen & Unwin.
- (1979b), "Knowledge and utility: implications for the sociology of knowledge", *Social Studies of Science*, 9, (1), pp. 63-80.
- y V. Mili (1980), "The sociology of science in East and West", *Current Sociology*, 28, (3), pp. 1-372.
- Mustar, P. (1989), *La creation d'entreprises par des chercheurs: Deux etudes de case*, Paris, CSI.
- Nelson, R. (ed.) (1993), *National Innovation Systems: A Comparative Study*, Oxford, Oxford University Press.
- Nelson, R. y S. Winter (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge, The Belknap Press of Harvard University Press.
- (1977), "In Search of a Useful Theory of Innovation", *Research Policy*, 6, (1), pp. 36-76.
- (1974), "Neoclassical versus Evolutionary Theories of Economic Growth: Critique and Prospectus", *Economic Journal*, 84, (336), pp. 886-905.
- Nickles, T. (1982), "How Discovery is Important to Cognitive Studies of Science", ponencia presentada en el Philosophy of Science Association Meeting, Filadelfia.
- Noble, D. (1984), *Forces of Production: A Social History of Industrial Automation*, Nueva York, Knopf.
- (1979), "Social choice in machine design: The case of automatically controlled machine tools", en Zimbalist, A. (ed.), *Case Studies on the Labor Process*, Nueva York, Monthly Review Press, pp. 18-50.
- (1977), *America by Design: Science, Technology and the Rise of Corporate Capitalism*, Nueva York, Knopf.
- North, D. (1992), *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*, Cambridge, Cambridge University Press.
- OECD (1992), *Technology and the Economy. The key relationships*, Paris.
- Ogburn, W. (1945), *The Social Effects of Aviation*, Boston, Houghton Mifflin.

- y N. Nimkoff (1955), *Technology and the Changing Family*, Boston, Houghton Mifflin.
- Ormalá, E. (1999), "Finish Innovation Policy in the European Perspective", en Gerd Schienstock, G. y O. Kuusi (eds.), *Transformation Towards a Learning Economy: The Challenge for the Finnish Innovation System*, Helsinki, Sitra, pp. 117-129.
- Oudshoorn, N. y T. J. Pinch (2003), *How Users Matter: The Co-Construction of Users and Technologies*, Cambridge, MIT Press.
- Oury, J. M. (1983), *Economie politique de la vigilance*, Paris, Calmann Levy.
- Paju, P. (2002), *Ensimmäinen suomalainen tietokone ESKO ja 1950-luvun suunnitelma laskentakeskuksesta*, Turku, Universidad de Turku.
- Palermo, D. (1971), "Is a scientific revolution taking place in psychology?", *Science Studies*, 1, (2), pp. 135-155.
- Parayll, G. (1999), *Conceptualizing Technological Change*, Lanham, Rowman & Littlefield Publishers.
- Parkes, A. (1865), "Preparing compounds of gun cotton and other substances, & c.", patente británica N° 2675.
- (1855), "Manufacture of elastic and adhesive compounds", patente británica N° 2359.
- Parsons, T. (1977), *The evolution of societies*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall.
- Passer, H. (1953), *The Electrical Manufacturers, 1875-1909*, Cambridge, Harvard University Press.
- Pavitt, K. (1984), "Patterns on Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory", *Research Policy*, 13, (6), pp. 343-373.
- Pérez, C. (1983), "Structural Change and the Assimilation of New Technologies in the Economic and Social System", en *Futures*, 15, (4), pp. 357-375.
- Pickering, A. (ed.) (1992), *Science as Practice and Culture*, Chicago y Londres, University of Chicago Press.
- (1984), *Constructing Quarks. A Sociological History of Particle Physics*, Chicago y Edimburgo, University of Chicago Press y Edinburgh University Press.
- Pinch, T. J. (1997), "La construcción social de la tecnología: una revisión", en Santos, M. J. y R. Díaz Cruz (comps.), *Innovación tecnológica y procesos culturales. Nuevas perspectivas teóricas*, México, Fondo de Cultura Económica, pp. 20-38.
- (1996), "The Social Construction of Technology: A Review", en Fox, R. (ed.), *Technological Change: Methods and Themes in the History of Technology*, Amsterdam, Harwood, pp. 17-36.
- (1986), *Confronting Nature: The Sociology of Solar-Neutrino Detection*, Dordrecht, Reidel.
- (1977), "What does a proof do if it does not prove? A study of the social conditions and metaphysical division leading to David Bohm and John von Neumann failing to communicate in quantum physics", en Mendelson, E., P. Weingart y R. Whitley (eds.), *The Social Production of Scientific Knowledge*, Dordrecht, Reidel, pp. 171-215.
- y W. E. Bijker (1987), "The Social Construction of Facts and Artifacts: Or How the Sociology of Science and the Sociology of Technology Might Benefit Each Other", en Bijker, W. E., T. P. Hughes y T. J. Pinch (eds.), *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*, Cambridge y Londres, MIT Press, pp. 17-50.
- y W. E. Bijker (1984), "The Social Construction of Facts and Artifacts: Or How the Sociology of Science and the Sociology of Technology Might Benefit Each Other", *Social Studies of Science*, 14, (3), pp. 339-441.
- Rabeharisoa, V. (1990), *La construction de réseaux technico-economiques dans le domaine de la regulation thermique*, Paris, CSI-AFME.
- Ravetz, J. (1971), *Scientific Knowledge and Its Social Problems*, Oxford, Clarendon Press.
- Redman, L. y A. Mory (1931), "The Bakelite Corporation", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 23, (5), pp. 595-597.
- Reynaud, J. D. (1989), *Les regles du jeu*, Paris, A. Colin.
- Riveline, C. (1983), "Nouvelles approches des processus de decision: les apports de la recherche en gestion", en *Futuribles*, 72, pp. 64-67.
- Robbins, D. y R. Johnston (1976), "The role of cognitive and occupational differentiation in scientific controversias", *Social Studies of Science*, 6, (3-4), pp. 349-368.
- Roobeek, A. (1995), "Biotechnology: A Core Technology in a New Techno-Economic Paradigm", en Fransman, M., G. June y A. Roobeek (eds.), *The Biotechnology Revolution*, Oxford y Cambridge, Blackwell, pp. 62-84.
- Ropol, G. (1979), *Eine Systemtheorie der Technik: Zur Grundlegung der Allgemeinen Technologie*, Munich y Viena, Hanser.
- Rosen, P. (1993), "The Social Construction of Mountain Bikes: Technology and Postmodernity in the Cycle Industry", *Social Studies of Science*, 23, (3), pp. 479-513.
- Rosenberg, N. (1982), *Inside the Black Box. Technology and Economics*, Cambridge, Cambridge University Press.

- (1976), *Perspectives on Technology*, Cambridge, Cambridge University Press.
- y W. Vincenti (1978), *The Britannia Bridge: The Generation and Diffusion of Technological Knowledge*, Cambridge, MIT Press.
- Saviotti, P. y J. S. Metcalfe (1984), "A theoretical approach to the construction of technological indicators", en *Research Policy*, 13, (3), pp. 141-151.
- Schatzki, T., K. Knorr-Cetina y E. von Savigny (eds.) (2001), *The Practice Turn in Contemporary Theory*, Londres y Nueva York, Routledge.
- Schmookler, J. (1972), *Patents, Inventions and Economic Change, Data and Selective Essays*, editado por Z. Griliches y L. Hurwicz, Cambridge, Harvard University Press.
- (1966), *Invention and Economic Growth*, Cambridge, Harvard University Press.
- Scholz, L., con la colaboración de L. Uhlmann (1977), *Technik-Indikatoren, Ansätze zur Messung des Standes der Technik in der industriellen Produktion*, Berlín y Munich, Duncker & Humblot.
- Schot, J. (1985), "De ontwikkeling van de techniek als een variatieen selectieproces. De meekrapteelt en-bereiding in het licht van een alternatieve techniekopvatting", tesis de Maestría, Erasmus Universiteit, Rotterdam.
- (1986), "De meekrapnijverheid: de ontwikkeling van de techniek als een proces van variatie en selectie", *Jaarboek voor de Geschiedenis van Bedrijf en Techniek*, 3, pp. 43-62.
- Schumpeter, J. (1942), *Capitalism, Socialism and Democracy*, Nueva York, Harper [en español: *Capitalismo, socialismo y democracia*, México, Editorial Aguilar, 1961].
- (1928), "The Instability of Capitalism", *Economic Journal*, XXXVIII, pp. 361-368 [en español: en Rosenberg, N. (comp.) (1979), *Economía del cambio tecnológico*, México, Fondo de Cultura Económica, pp. 13-38].
- (1912), *The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle*, Cambridge, Harvard University Press [en español, *Teoría del desenvolvimiento económico: una investigación sobre ganancias, capital, crédito, interés y ciclo económico*, México, Fondo de Cultura Económica, 1944].
- Schwartz Cowan, R. (1983), *More Work for Mother: The Ironies of Household Technologies from the Open Hearth to the Microwave*, Nueva York, Basic Books.
- Shapin, S. (1988), "Following Scientists Around", *Social Studies of Science*, 18, (3), pp. 533-550.
- (1984), "Pump and circumstance: Robert Boyle's literary technology", *Social Studies of Science*, 14, (4), pp. 481-520.
- (1982), "History of Science and Its Sociological Reconstructions", *History of Science*, 20, (2), pp. 157-211.
- (1980), "Social uses of science", en Rousseau, G. y R. Porter (eds.), *The Ferment of Knowledge*, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 93-139.
- (1979), "The politics of observation: Cerebral anatomy and social interest in the Edinburgh phrenology disputes", en Wallis, R. (ed.), *On the Margins of Science: The Social Construction of Rejected Knowledge*, Keele, University of Keele, pp. 139-178.
- y S. Schaffer (1985), *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle and the Experimental Life*, Princeton, Princeton University Press [en español: *El Leviathan y la bomba de vacío. Hobbes, Boyle y la vida experimental*, Bernal, Universidad Nacional de Quilmes, 2005].
- Sherwin, C. y R. Isenson (1967), "Project Hindsight: A Defense Department study of the utility of research", *Science*, 156, (3782), pp. 1571-1577.
- (1966), "First Interim Report on Project Hindsight: Summary", Washington, Office of the Director of Defence Research and Engineering.
- Shinn, T. (2000), "Formes de divisions du travail scientifique et convergences cognitives. La recherche technico-instrumentale contre la 'nouvelle orthodoxie' en Sociologie des Sciences", *Colloque International de la AISLF, Québec*.
- Smith, M. (1977), *Harpers Ferry Armory and the New Technology: The Challenge of Change*, Ithaca, Cornell University Press.
- Sperry, E. (1930), "Spirit of invention in an industrial civilization", en Beard, C. (ed.), *Toward Civilization*, Nueva York, Longmans Green, pp. 47-68.
- Star, S. L. (1988), "Introduction: The Sociology of Science and Technology", *Social Problems*, 35, (3), pp. 197-205.
- Staudenmaier, J. (1985), *Technology's Storytellers: Reviewing the Human Fabric*, Cambridge, MIT Press.
- Stanley Exhibition of Cycles (1890), *The Engineer*, (69), pp. 107-108.
- (1889), *The Engineer*, (67), pp. 157-158.
- Thévenot, L. (1989), "Équilibre et rationalité dans un univers complexe", *Revue Economique*, 40, (2), p. 147-197.
- (1985), "Les investissements de forme", en L. Thévenot (ed.), *Conventions économiques*, Cahiers du centre d'études de l'emploi, pp. 21-71.

- Thinius, K. (1976), "Entwicklung der Reaktion zwischen Formaldehyde un Phenol zu einem Produktionszweig der Plasindustrie zwischen 1900 und 1930", *Plaste und Kautschuk*, 23, pp. 746-749.
- Thomas, H. (2007), "Dinámicas de innovación y cambio tecnológico en el Mercosur. Procesos socio-técnicos de construcción de condición periférica", presentado en la mesa temática Repercusiones sociales de la CTI: innovación tecnológica e innovación social, GT1 Ciencia, Tecnología e Innovación, XXVI Congreso de la Asociación Latinoamericana de Sociología (ALAS), Guadalajara, México, 13 a 18 de agosto de 2007.
- (2005), "Socio-technical Trajectories and Technological Change Styles into Underdeveloped Countries: the Resignification of Technologies. (Latin-America, 1930/2005)", Session SS28 Technology Transfer, 22nd International Congress of History of Science, Beijing (China), 24 al 30 de julio de 2005. Book of Abstracts, p. 616.
- (2001), "Estilos socio-técnicos de innovación periférica. La dinámica del SNI argentino, 1970-2000", en ALTEC: IX Seminario Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica: Innovación Tecnológica en la Economía del Conocimiento, San José de Costa Rica, CD.
- (1999), "Dinâmicas de inovação na Argentina (1970-1995), Abertura comercial, crise sistêmica e rearticulação", tesis de Doctorado, Universidad Estadual de Campinas.
- (1996), "Creatividad y sociedad. Acerca de la generación de tecnología en América Latina", *Cadernos da FCECA*, N° 9, pp. 78-108.
- (1995), *Sur-desarrollo. Producción de tecnología en países subdesarrollados*, Buenos Aires, Centro Editor de América Latina.
- (1994), "Tecnología y escasez, una racionalidad productiva diferenciada", *Doxa*, 5, (11/12), pp. 62-71.
- (1992), "Reciclaje y Sur-desarrollo, una perspectiva de abordaje al fenómeno de producción de tecnología en países subdesarrollados", *Cuadernos de Ciencia y Tecnología*, Luján, Universidad Nacional de Luján, pp. 48-92.
- , A. Davyt y R. Dagnino (2000), "Vinculacionismo-neovinculacionismo. Racionalidades de la interacción universidad-empresa en América Latina", en Casas, R. y G. Valenti (coords.), *Dos ejes en la vinculación de las universidades a la producción*, México, IIS-UNAM, UAM-Xochimilco y Plaza y Valdés Ed., pp. 25-48.
- y A. Vercelli (2007), "Bienes comunes: cambio tecnológico y cambio regulatorio. Análisis socio-técnico de procesos de co-construcción de bienes comunes y regulaciones tecnológicas", *Estudos. Direito, Relações Internacionais e Desenvolvimento*, Universidade Católica de Goiás, en evaluación.
- y C. Gianella (2006), "Trayectorias de aprendizaje y dinámicas de resolución de problemas en instituciones latinoamericanas de generación y transferencia de conocimientos científicos y tecnológicos. Análisis de una experiencia de desarrollo de un polo tecnológico (PTC-Argentina)", *Espacios*, vol. 27 (2), pp. 5-34.
- y E. Fliess (1994), "Desde los objetos hasta los sujetos. Acerca de la introducción de innovaciones en tecnología médica", *Revista de Reumatología*, 5, (2), pp. 44-51.
- *et al.* (2006), "Socio-technical analysis of slave workforce-based production systems (Africa-America, between the XVI and XIX centuries). A theoretical-methodological proposal", 2006 Annual Meeting: "Silence, Suffering and Survival", organizado por la Society for Social Studies of Science (4S); Vancouver (Canadá), 2 a 4 de noviembre de 2006. Libro de abstracts p. 205 [disponible en <<http://echo.gmu.edu/working/object/67>>].
- y M. Fressoli (2007), "Tecnologías sociales. El problema de la adecuación socio-técnica", presentado en 50º aniversario FLACSO, Ecuador, Quito, 29 de octubre de 2007.
- , M. Fressoli y D. Aguiar (2006), "Procesos de construcción de 'funcionamiento' de organismos animales genéticamente modificados: el caso de la vaca transgénica clonada (Argentina 1996-2006)", *Convergencia*, pp. 154-180.
- , M. Versino y A. Lalouf (2007), "Trayectoria socio-técnica y estilos de innovación en países subdesarrollados: resignificación de tecnologías en una empresa nuclear y espacial argentina", en Dutrénit, G., J. Jasso y D. Villavicencio (eds.), *Globalización, acumulación de capacidades e Innovación: los desafíos para las empresas, localidades y países*, México, FCE y OEL, pp. 384-414.
- , M. Versino y A. Lalouf (2005), "When the impossible becomes viable: Producing & exporting knowledge-intensive goods in underdeveloped countries. The organizational dimension in a socio-technical analysis of an Argentinean nuclear and space company (1971-2004)", en 5th Triple Helix Conference: The Capitalization of Knowledge: cognitive, economic, social & cultural aspects, Fondazione Rosselli, Turin, CD.

- y P. Kreimer (2002a), “La apropiabilidad social del conocimiento científico y tecnológico. Una propuesta de abordaje teórico-metodológico”, en Dagnino, R. y H. Thomas (orgs.), *Panorama dos estudos de Ciência, Tecnologia e Sociedade na América Latina*, San Pablo, Cabral-FINEP, pp. 273-291.
- y P. Kreimer (2002b), “What is AKNA? Social utility of Scientific and Technological Knowledge: challenges for latin American Countries”, The 4th Triple Helix Conference, The Copenhagen Business School, Copenhagen, CD.
- y R. Dagnino (2005), “Efectos de transducción: una nueva crítica a la transferencia acrítica de conceptos y modelos institucionales”, *Ciencia, Docencia y Tecnología*, (30), pp. 9-46.
- Toulmin, S. (1972), *Human Understanding*, vol. 1, Oxford, Oxford University Press.
- Touraine, A. (1974), *La production de la société*, Paris, Le Seuil [en español: *La producción de la sociedad*, México, IIS-UNAM, 1995].
- Uhlmann, L. (1978), *Der Innovationsprozess in westeuropäischen Industrieländern. Band 2: Den Ablauf industriellen Innovationsprozesses*, Berlin y Munich, Duncker & Humblot.
- Van den Belt, H. (1985), “A. W. Hofman en de Franse Octrooiprocessen rond anilinerood: demarcatie als sociale constructie”, *Jaarboek voor de Geschiedenis van Bedrijf en Techniek*, 2, pp. 64-86.
- y A. Rip (1987), “The Nelson-Winter-Dosi Model and Synthetic Dye Chemistry”, en Bijker, W. E., T. P. Hughes y T. J. Pinch (eds.), *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*, Cambridge y Londres, MIT Press, pp. 135-158.
- Van der Meer, F. (1983), *Organisatie als Spel*, Enschede, Boerderijcahier Twente University of Technology.
- Vercelli, A. y H. Thomas (2007), “La co-construcción de tecnologías y regulaciones: análisis socio-técnico de un artefacto anti-copia de Sony-BMG”, *Espacios*, 28, (3), pp. 23-25.
- Vergragt, P. (1988), “The Social Shaping of Industrial Innovations”, *Social Studies of Science*, 18, (3), pp. 483-513.
- Vessuri, H. (1994), “Sociología de la ciencia: enfoques y orientaciones”, en Martínez, E. (ed.), *Ciencia, tecnología y desarrollo: interrelaciones teóricas y metodológicas*, Caracas, Nueva Sociedad, pp. 51-89.
- (1991), “Perspectivas recientes en el estudio social de la ciencia”, *Inter-ciencia*, 16, (2), pp. 60-67.
- Vincenti, W. (1986), “The Davies wing and the problem of airfoil design: Uncertainty and growth in engineering knowledge”, *Technology and Culture*, 27, (4), pp. 717-758.
- Von Bertalanffy, L. (1968), *General Systems Theory: Foundations, Development, Applications*, Nueva York, Braziller [en español: *Teoría general de los sistemas: fundamentos, desarrollo, aplicaciones*, México, Fondo de Cultura Económica, 1976].
- Von Hippel, E. (1988), *The Sources of Innovation*, Oxford, Oxford University Press.
- (1976), “The Dominant Role of Users in the Scientific Instruments Innovation Process”, *Research Policy*, 5, (3), pp. 212-239.
- Wacjman, J. (2004), *TechnoFeminism*, Cambridge, Polity Press.
- Wade Hans, D. (2001), *Reflection Without Rules: Economic Methodology and Contemporary Science Theory*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Weingart, P. (1984), “The structure of technological change: Reflections on a sociological analysis of technology”, en Laudan, R. (ed.), *The Nature of Technological Knowledge: Are Models of Scientific Change Relevant?*, Dordrecht, Reidel, pp. 115-142.
- Wesley Shrum, F. (1984), “Scientific Specialties and Technical Systems”, *Social Studies of Science*, 14, (1), pp. 63-90.
- Westrum, R. (1983), “What happened to the old sociology of technology?”, ponencia presentada en el 8° Annual Meeting of the Society for Social Studies of Science, Blacksburg.
- Whitley, R. (1972), “Black boxism and the sociology of science: A discussion of the mayor developments in the field”, en Halmos, P. (ed.) *The Sociology of Science*, Keele, University of Keele, pp. 62-92.
- Wilhelm, P. (1985), “Coupling mechanisms and integration processes”, ponencia presentada en la Conference on the Social Direction of Public Sciences, Amsterdam.
- y H. Bolk (1986), “Strategy and the art of structure maintenance: On the interplay of strategy and structure in science policy”, en Becker, A. y A. Porter, (eds.), *Impact Assessment Today*, Utrecht, Van Arkel, pp. 741-758.
- Winner, L. (1977), *Autonomous Technology: Technics Out of Control as Theme in Political Thought*, Cambridge, MIT Press [en español: *Tecnología autónoma*, Barcelona, Gustavo Gili, 1979].
- Wise, G. (1980), “A new role for professional scientists in industry”, *Technology and Culture*, 21, (3), pp. 408-429.

- Woodforde, J. (1970), *The Story of the Bicycle*, Londres, Routledge & Kegan Paul.
- Woolgar, S. (1982), "Laboratory Studies: A comment on the state of the art", *Social Studies of Science*, 2, (4), pp. 481-498.
- Worden, E. (1911), *Nitro-cellulose Industry*, Nueva York, Van Nostrand.
- Wynne, B. (1976), "C. G. Barkla and the J phenomenon: A case study of the treatment of deviance in physics", *Social Studies of Science*, 6, (3-4), pp. 307-347.
- Yearley, S. (2005), *Making Sense of Science: Understanding the Social Studies of Science*, Londres, Sage.
- Ylikoski, P. (2000), "Bruno Latour ja tieteen tutkimus", *Tiede & Edistys*, (4), pp. 296-310.

## Autores y compiladores

Wiebe E. Bijker es ingeniero en Física aplicada y doctor en Sociología e Historia de la Tecnología por la Universidad de Twente. Junto con Trevor J. Pinch organizaron el seminario que dio lugar a la publicación del libro *The Social Construction of Technological Systems* (coeditado con T. J. Pinch y T. P. Hughes). En 1995 publicó *Of Bicycles, Bakelites and Bulbs*, un aporte para la construcción de una teoría de la innovación tecnológica. En la actualidad dirige el Departamento de Ciencias Sociales y Tecnología, en la Facultad de Artes y Cultura de la Universidad de Maastricht, Países Bajos.

Henrik Bruun es investigador senior en el Helsinki Institute of Science and Technology Studies; fue Editor en Jefe de *Science Studies*. Ha publicado diversos trabajos sobre la relación entre aprendizaje y formas de producción de conocimiento en grupos sociales y científicos. Es autor de "The emergence of a regional innovation network: BioTurku in Turku, Finland", en *Embracing the Knowledge Economy. The Dynamic Transformation of the Finnish Innovation System* y "Nature as a Symbol of Identity; Planning a Case Study in the Finnish Archipelago Sea", en *Nature and Lifeworld. Theoretical and Practical Metaphysics*.

Alfonso Buch es doctor en Filosofía y Letras por la Universidad Autónoma de Madrid. Ha publicado *Forma y función de un sujeto moderno. Bernardo Houssay y la fisiología argentina (1900-1943)*, un análisis del desarrollo de la investigación científica biomédica en la Argentina en la primera mitad del siglo XX. Ha traducido diversos artículos y libros relevantes en el campo de los estudios sociales de la ciencia, entre los que se destacan *El Leviathan y la bomba de vacío. Hobbes, Boyle y*

*la vida experimental*, de Steven Shapin y Simon Shaffer, y *Cambiando el orden. Replicación e inducción en la práctica científica*, de Harry Collins.

Michel Callon es ingeniero y sociólogo. En la actualidad es profesor de sociología de la Ecole des Mines de París y miembro del Centre de Sociologie de l'Innovation. Es uno de los "fundadores", junto con Bruno Latour y John Law, del enfoque de la teoría del actor-red. Ha editado *The Law of the Markets* (Londres, Blackwell) y (junto con Y. Millo y F. Muniesa) *Market Devices* (Oxford, Blackwell). Además, ha publicado numerosos artículos en los que se investiga la articulación entre economía, tecnología y sociedad.

Thomas P. Hughes es profesor emérito del Departamento de Historia y Sociología de la Ciencia, de la Universidad de Pensilvania y profesor visitante del Massachusetts Institute of Technology. Ha publicado numerosos estudios de historia de la tecnología, entre los cuales el más relevante es el libro *Networks of Power. Electrification in Western Society 1880-1930*. Sus trabajos más recientes son *Rescuing Prometheus* y *Human-Built World. How to think about technology and culture*.

Janne Hukkinen es doctor en Política e Ingeniería Ambiental por la Universidad de California, Berkeley. Se desempeña como profesor de gestión ambiental en la Helsinki University of Technology en Finlandia. Sus intereses de investigación se focalizan en instituciones ambientales, estrategias de sustentabilidad y el papel de los expertos en políticas ambientales y tecnológicas. Es autor de diversos artículos y del libro *Institutions in Environmental Management: Constructing Mental Models and Sustainability*.

Mariano Fressoli es sociólogo por la Universidad de Buenos Aires y magíster en Estudios Culturales del Goldsmiths College, University of London. Actualmente es becario CONICET y miembro del Grupo de Estudios de la Tecnología y la Innovación, del Instituto de Estudios sobre

la Ciencia y la Tecnología, Universidad Nacional de Quilmes. En su tesis doctoral estudia la historia de la clonación de mamíferos en la Argentina.

Alberto Lalouf es profesor en Ciencias de la Educación de la Universidad Nacional de Entre Ríos y magíster en Ciencia, Tecnología y Sociedad, por la Universidad Nacional de Quilmes. Actualmente es becario de la Universidad Nacional de General San Martín y miembro del Grupo de Estudios de la Tecnología y la Innovación, del Instituto de Estudios sobre la Ciencia y la Tecnología, Universidad Nacional de Quilmes. En su tesis doctoral, aborda la relación tecnología-esclavitud entre los siglos XVI y XIX.

Trevor J. Pinch es profesor del Departamento de Estudios de la Ciencia y la Tecnología de la Universidad de Cornell. Ha publicado varios libros en sociología de la ciencia en colaboración con Harry Collins como *Frames of Meaning: The Social Construction of Extraordinary Science* y la serie de libros El Golem. Su trabajo más reciente (en co-autoría con Frank Trocco) es *Analog Days: The invention and impact of the Moog synthesizer*.

Hernán Thomas es doctor en Política Científica y Tecnológica por la Universidad de Campinas, Brasil. Es investigador independiente del CONICET, profesor titular de la Universidad Nacional de Quilmes y director del Grupo de Estudios de la Tecnología y la Innovación, del Instituto de Estudios sobre la Ciencia y la Tecnología, de la misma universidad. Entre sus publicaciones se destacan los libros *Sur-desarrollo, Panorama dos estudos de Ciência, Tecnologia e Sociedade na América Latina* (co-organizado con R. Dagnino) e *Insumos para una planificación estratégica de políticas públicas de ciencia, tecnología, innovación y educación superior* (en co-autoría con C. Gianella).

Esta edición de 1.000 ejemplares se terminó de imprimir  
en julio de 2008, en Ferrograf, Cooperativa de Trabajo Limitada,  
Boulevard 82, No 535, La Plata, Provincia de Buenos Aires