

# Una explicación del cambio tecnológico basada en el concepto de dependencia de trayectoria

**Abstract.** *Traditional ways of understanding technological change often rely on technological determinism, the idea that technologies have an internal logic or force. Technological change is supposed to be the result of such a logic or force, just as changes of the earth's surface are due to tectonic plate movements. Alternatives to deterministic explanations are often of a constructionist sort. Under this view technological change is understood as the result of local interactions of interests. Both models have difficulties in incorporating relevant normative considerations in the explorations they provide. I suggest a different view based on the exploration of the concept of trajectory-dependent technologies. The key point I defend is that there are multiple and charging inter-dependent components of technological innovation and change. Explanation of change must appeal to multiple contingent and historical factors in complex socio-technological systems. In such a model, normative considerations can enter into the generation and promotion of technologies as part of the interdependencies which shape technological change.*

**Key Words:** *Technological determinism, logic or force, constructionist sort, concept of trajectory-dependent technologies, historical factors, technological change*

**Resumen.** *Formas tradicionales de entender los cambios tecnológicos a menudo se basan en el determinismo tecnológico, la idea de que las tecnologías tienen una lógica o fuerza interna. El cambio tecnológico que se supone que es*

*el resultado de tal lógica o fuerza, así como los cambios de la superficie de la Tierra se deben a movimientos de placas tectónicas. Alternativas a las explicaciones deterministas son a menudo de un tipo constructorista. En virtud de este punto de vista el cambio tecnológico se entiende como el resultado de las interacciones locales de los intereses. Ambos modelos tienen dificultades incorporando las consideraciones normativas relevantes en las exploraciones que ofrecen. Propongo un punto de vista diferente basado en la exploración del concepto de tecnologías de metas definidas. El punto clave que yo defiendo es que hay múltiples componentes interdependientes de la innovación tecnológica y el cambio. La explicación del cambio debe apelar a múltiples factores históricos y contingentes en complejos sistemas socio-tecnológicos. En este modelo, consideraciones normativas pueden mezclarse en la generación y promoción de las tecnologías como parte de las interdependencias que dan forma a los cambios tecnológicos.*

**Palabras claves:** *determinismo tecnológico, la lógica o la fuerza, tipo constructorista, el concepto de tecnologías de metas definidas, factores históricos, el cambio tecnológico.*

## 1. Introducción

En la concepción tradicional de la explicación científica la idea de lo que es una explicación se ha apoyado en una interpretación de cómo tienen lugar las explicaciones que generan

las grandes teorías científicas de los siglos pasados, y en particular teorías paradigmáticas de la física. Pero este no es el único modelo importante para responder a la pregunta de qué es una explicación. En la segunda mitad del siglo XX, se desarrollaron modelos de explicación causal que no tratan de modelar explicaciones teóricas sino fenómenos complejos caracterizados estadísticamente, y lo que es más importante para nosotros en este trabajo, se desarrollaron también modelos de explicaciones narrativas en las que el poder explicativo proviene de aspectos contingentes del mundo.<sup>1</sup> Modelos en los que aspectos contingentes del mundo tienen poder explicativo han recibido apoyo de las ciencias sociales, pero también de manera crucial de la biología, las ciencias que modelan fenómenos complejos e incluso de la física. En la biología, a partir de Darwin aspectos contingentes del mundo empiezan a jugar un papel explicativo importante, y aunque hay diferencias respecto a cómo se entiende que lo contingente juega un papel en las explicaciones en diferentes áreas de la biología, es cada vez más difícil sostener que la historia en las explicaciones se reduce a informarnos de un orden causal-temporal para los sucesos del mundo.

Esta diferencia en el tipo de aproximación está también presente y subyace a muchas discusiones filosóficas respecto al tipo de explicaciones que podemos dar en estudios sobre ciencia y tecnología. El interés primordial en este artículo es hacer ver que para entender muchas discusiones respecto a qué es cambio tecnológico es crucial entender que esa explicación requiere tomar en cuenta la manera como aspectos contingentes (en un sentido que explicamos adelante) juegan un papel en modelos explicativos del cambio tecnológico.

Una de las asociaciones que se hacen inmediatamente cuando se habla de tecnología es con el concepto de "novedad". Tecnología y "nuevas tecnologías" se usan muchas veces como sinónimos tanto en los periódicos y en muchas discusiones en la vida diaria, como en discusiones más especializadas. Esta conexión entre tecnología y novedad usualmente va de la mano de la idea de que la primera es una "fuerza" que nos lleva a vivir de otra manera, en direcciones en las que a veces sentimos que preferiríamos no ir, o por lo menos, en direcciones que no hemos elegido.

Una manera de responder al tipo de percepciones de cambio que asociamos con la tecnología es utilizando el concepto de determinismo tecnológico. Si bien muchas de las reflexiones sobre la tecnología que han tenido lugar en las últimas décadas pueden verse como un rechazo frontal a dicha tesis, este rechazo lleva muchas veces a negar el tipo de experiencias que sustentan la tesis del determinismo, y por lo tanto deja sin explicación fenómenos importantes. Por lo que es importante para nuestro propósito empezar por examinar la tesis determinista.

## 2. Determinismo y cambio tecnológico

Entre los historiadores y sociólogos contemporáneos el determinismo tecnológico es entendido como la idea de que la tecnología tiene una lógica o un impulso propio que nos hace pensar en ella como si fuera una bala de cañón; una vez lanzada sólo podemos calcular los resultados, o reparar los daños que resulten, pero no podemos hacer mucho más que evaluar el impacto. Hay diferencias de opinión respecto a si se piensa que el determinismo tecnológico depende de un determinado estadio de desarrollo científico, o si es un "momentum" o "impulso" o una "lógica interna" propia de las tecnologías e independiente del desarrollo científico. Pero, en general, el determinismo tecnológico se piensa como la vieja y errónea idea acerca de la naturaleza del cambio tecnológico que es necesario superar para comprender su desarrollo.

Sin embargo, en el tipo de sociedades en las que vivimos la experiencia de que la tecnología se nos impone es algo que parece tener algo de correcto. Nadie nos pregunta si queremos usar tarjetas prepagadas para entrar al sistema colectivo de transporte. Cada vez es más difícil encontrar un teléfono celular que sólo sea teléfono, nadie nos preguntó si queríamos que tuviera cámara, calculadora, agenda, etcétera. Por supuesto que la percepción de que una tecnología se nos impone tiene que ver —entre otras cosas con valores—. Si se obligara a los niños a llevar un chip identificatorio bajo la piel, la mayoría de los padres consideraría que es una imposición

inaceptable. Para mí la televisión en lugares públicos es una imposición terrible, para muchos una fuente de distracción obligada.

Otro ejemplo puede ayudarnos a ver mejor la compleja interacción entre valores y tecnología en la que queremos ahondar. Hay estudios que sugieren que las clases por internet no deben sustituir a la educación tradicional, sobre todo porque el estudiante desacopla la enseñanza de una autoridad presente y cercana, de una *persona*, del proceso educativo. En la medida en que la información se presenta sin esa dimensión de autoridad implícita en la relación maestro-alumno hay un cambio importante en la manera como se entiende la educación. Puede pensarse que este cambio es beneficioso en tanto que fomenta una actitud menos subordinada frente a la autoridad, pero otros piensan que uno de los aspectos más importantes de la educación es aprender a respetar un cierto tipo de autoridad, y que ese tipo de experiencia se pierde en las clases por internet (Dreyfus, 2003). Nótese que la discusión no es simplemente sobre el uso apropiado de un artefacto. Muchas tecnologías diferentes tienen que acoplarse como parte de un proyecto educativo que podemos aplaudir o criticar, pero que no podemos reducir al uso de artefactos. En uno de los libros más conocidos en el área de estudios sobre la tecnología, *The Social Shaping of Technology* (publicado originalmente en 1985), Donald Mackenzie y Judy Wajcman afirmaban en el prefacio que su objetivo era una crítica al determinismo tecnológico, tanto por sus implicaciones políticas como intelectuales. Políticamente porque promueve una actitud pasiva hacia una parte muy importante de nuestras vidas. Sugiere que no vale la pena involucrarse críticamente con la tecnología, ya que el determinismo tecnológico implica que estamos a merced de la tecnología, lo que lleva a un estrechamiento del rango de posibilidades políticas a un número limitado y sin atractivo de opciones: adaptación a la nueva tecnología, o simple rechazo.

En el prefacio a la segunda edición del libro en 1999, Mackenzie y Wajcman nos dicen que si bien en los años ochenta entre algunos historiadores de la tecnología ya estaba presente la idea de que la tecnología y la sociedad estaban estrechamente unidas y de que había una relación

de mutua conformación, en las ciencias sociales tardó varios años en establecerse esta misma idea. A finales de los noventa, sin embargo, esta interdependencia está ya plenamente establecida, hasta el punto, dicen ellos, de que se volvió un tema de moda: en los más refinados seminarios, la referencia a “tecnología” y “sociedad” generaba inmediatamente la respuesta que hablar de ellos como entes distintos es engañoso. Pero entonces, ellos se preguntan en 1999, dado que la idea de la conformación social de la tecnología ya está bien establecida, ¿por qué producir un nuevo libro sobre el tema?

Una de las razones que ellos dan para publicar de nuevo el libro es que el éxito de la crítica al determinismo tecnológico es precario. Es de temer que ocurra en los estudios sociales de la tecnología lo que pasó en los estudios sociales de la ciencia. El éxito inicial de los estudios sociales de la ciencia, dicen ellos, se basó en la publicación de muy buenos trabajos por académicos que reconocían que la evidencia era parcial y fragmentaria, y que los temas conceptuales involucrados no estaban bien entendidos. Sin embargo, una audiencia de humanistas y científicos sociales en las disciplinas más diversas tomaron esas ideas como dogma y las utilizaron para defender de las maneras más sorprendentes la conclusión de que la ciencia es “una construcción social”. Esta falta de actitud crítica, ellos diagnostican, es lo que llevó a una reacción hostil de los científicos naturales, y a la llamada “guerra de las ciencias”. Si bien consideran que hay poco riesgo de que la tesis de la conformación social de la tecnología genere este tipo de reacción, sí es preocupante que la aceptación de la tesis haga perder de vista el hecho de que es sólo a través de estudios empíricos de casos particulares, que muestren la manera en la que de hecho se conforma socialmente la tecnología, como podemos hablar de conformación social (MacKenzie y Wajcman 1999, p. XVI). Ellos reconocen que a cierto nivel de generalidad la tesis es vacía, excepto como un contrapunto polémico al determinismo tecnológico simplista.

Pero no es claro en donde termina “el determinismo tecnológico simplista” y en donde principian explicaciones basadas en “momentum tecnológico” (Hughes, 1998) o en otro tipo de

conceptos que buscan rescatar el poder explicativo de la tesis determinista. Esta dificultad de distinguir claramente la tesis determinista simplista de tesis no simplistas con poder explicativo sugiere que la conformación social de la tecnología que aspiran a describir MacKenzie y Wajcman no puede reducirse a estudios empíricos de casos particulares. Requiere una discusión a fondo del tipo de procesos que explican esa conformación mutua como algo más que usos de artefactos que promueven determinados intereses. Por ello vale la pena entender un poco mejor de dónde proviene el poder explicativo del determinismo tecnológico.

En su artículo 1994 Heilbroner sugiere que el problema del determinismo tecnológico en el fondo es el problema de cómo formulamos explicaciones históricas, pero piensa que la manera más obvia y directa en la que puede formularse la idea de que la tecnología hace historia, como un cambio en las condiciones materiales de existencia, no es una manera satisfactoria de plantear el problema. El mero hecho de reconocer que la estructura tecnológica está íntimamente ligada a las diferentes actividades que caracterizan una sociedad no nos permite echar luz en las conexiones que hay entre el cambio tecnológico y el cambio en el orden socio-económico, el tipo de conformación mutua que les preocupa a autores como Mackenzie y Wajcman. El problema, nos dice Heilbroner, es que este tipo de caracterizaciones no nos permite establecer el tipo de generalizaciones que deben guiar una explicación.

La cuestión es pues clara, ¿qué tipo de generalizaciones pueden sustentar explicaciones? Uno podría pensar que conceptos como el de "rutina" o "hábito" o "naturaleza humana" podrían servir de punto de apoyo, pero todos estos conceptos Heilbroner los considera problemáticos porque finalmente no pueden dar cuenta claras del tipo de procesos causales por medio de los cuales los estímulos provenientes del cambio tecnológico se convierten en respuestas conductuales predecibles que generen un orden socioeconómico. Lo que se necesita, dice él, es identificar un mecanismo que nos permita transformar las modificaciones en el contexto material de la existencia asociadas con la tecnología, con vectores de comportamiento bien definidos. Este mecanismo debe de ser capaz

de efectuar una reducción sistemática de la complejidad de causas que explique la simplicidad del efecto, lo que debería permitirnos explicar cómo el desarrollo tecnológico puede alterar las relaciones sociales, hasta el punto de dar cuenta de cómo se pasa del feudalismo al capitalismo, por ejemplo.

Heilbroner piensa que este mecanismo es la economía, en el sentido de un campo de fuerza que, en tanto impone restricciones en la conducta, lleva a cambios en nuestras acciones. En este sentido, los cambios en la tecnología pueden entenderse como procesos de modificación de nuestras acciones, de manera suficientemente regular como para permitirnos hablar de "leyes" en el mercado o en la empresa. Los cambios en el contexto tecnológico se registran como cambios en el sistema de precios, por ejemplo. Así, la economía podría ser el hilo que nos permita esclarecer la tesis del determinismo tecnológico. Esta es una tesis que tuvo mucho apoyo en buena parte del siglo XX. En una línea similar, Elster (1983) sostiene que si bien puede haber diferentes tipos de modelos evolucionistas del cambio tecnológico, que iluminen algunos aspectos del problema, no es posible pasar por encima de lo que él considera son los cánones del método científico. Elster considera que modelos historicistas de cambio tecnológico, modelos en los que aspectos contingentes del mundo juegan un papel explicativo irreducible, están basados en una confusión. El modelo de Paul David al que se refiere Elster en la siguiente cita, y sobre el que diremos más adelante, es un ejemplo de ese tipo de modelo historicista. Según Elster, David asume que

...el pasado puede tener una influencia causal sobre el presente sin mediar una cadena de eslabones localmente causales...[una idea que es] contraria a todos los cánones del método científico. Algunas veces sería conveniente representar un proceso como si el pasado pudiera tener efecto directo sobre el presente, pero si se rechaza la acción a distancia hay que creer que ésta sólo puede ser una ficción útil. Si un modelo es histórico en el sentido de David, es una desventaja, no una ventaja. Cada vez que se tiene un "modelo histórico", debería ser un desafío seguir adelante y eliminar la historia transformándola

en variables de estado. (Elster, 1983, 141.  
Traducción castellana)

Nótese que esta idea es muy cercana a la idea de Heilbroner de que las explicaciones basadas en las leyes de la economía pueden ayudarnos a caracterizar el tipo de determinismo que genera el desarrollo tecnológico. Heilbroner llama a esto determinismo, Elster no quiere llamarlo de esta manera, pero lo que es cierto es que lo que se logra en ambos casos es un cierto tipo de reducción del tipo de procesos de interés a procesos derivables de leyes. Si el mecanismo de cambio se reduce a la economía o a otro tipo de proceso causal no es particularmente significativo, el punto es que se hace dispensable el uso de factores contingentes en la explicación del cambio, el cambio en última instancia se puede explicar siguiendo el modelo de explicación por leyes.

Es pues claro que los problemas en entender a cabalidad las deficiencias de la tesis del determinismo tecnológico están relacionados con la falta de claridad de la relación de esa tesis con supuestos respecto a qué es una buena explicación. O alternativamente, si pretendemos que aspectos contingentes de los procesos a través de los cuales se conforman mutuamente la ciencia y la tecnología tienen poder explicativo tenemos que decir algo respecto a cómo entendemos que esos aspectos contingentes adquieren esa capacidad. De otra manera estamos ignorando un aspecto muy importante de la discusión. El dar cuenta de este poder explicativo es pues crucial en cualquier propuesta historicista. David trata de hacer esto utilizando el concepto de *procesos dependientes de trayectoria*.

### 3. Sobre el concepto de dependencia de trayectoria

El modelo de cambio tecnológico dependiente de trayectoria parte del análisis de un ejemplo hecho famoso por David en un artículo de 1985. David cuenta ahí la historia de cómo llegó a atrincherarse el ordenamiento tradicional del teclado de las máquinas de escribir, conocido como teclado QWERTY. Este ordenamiento de las teclas no

fue desarrollado pensando en alcanzar la mayor rapidez posible al escribir, sino de manera tal que teclas cercanas tendieran a no ser apretadas consecutivamente, con lo que se corría el riesgo de provocar que las teclas se trabaran una con otra. Este problema desaparece cuando se inventa la tecnología de las esferas de escribir (bolas de metal que tienen distribuidas sobre su superficie las diferentes letras) y posteriormente con el desarrollo de las máquinas eléctricas y los computadores. No obstante, seguimos utilizando este ordenamiento de las teclas. David atribuye su atrincheramiento, que va en contra de ordenamientos que permitirían mayor rapidez de escritura, a tres cuestiones: la interrelación de tecnologías, las economías de escala y la cuasi-irreversibilidad de esfuerzos. A grandes rasgos, la idea de la interrelación de tecnologías se refiere al hecho de que las diferentes partes de una máquina de escribir tienen que embonar una con otra, y que por lo tanto, los cambios en una parte generan costos de producción asociados con cambios en otras partes. Las economías de escala se refieren a los beneficios económicos que se alcanzan al producir muchos artefactos de un mismo tipo. Cambiar el diseño y producir una máquina con otro teclado sería de entrada más costoso. Y finalmente, la cuasi-irreversibilidad de los esfuerzos se refiere a los problemas que tiene que confrontar un artefacto que se pone a funcionar con un propósito diferente al establecido. Un automóvil sedán se puede utilizar como vehículo de carga, pero los amortiguadores no están hechos para llevar carga sino para que la gente vaya cómoda adentro. Los acabados de un sedán, además, están hechos para transportar personas, no carga. El punto de David es que este tipo de hechos, diseños o tipos de artefactos que se resisten a cambios que implicarían mejoras en la producción de bienes tiene que explicarse por la dependencia de trayectorias de muchas tecnologías. David lo formula como sigue:

Una sucesión de cambios económicos es dependiente de trayectoria si influencias importantes sobre el resultado pueden provenir de sucesos temporalmente remotos, incluyendo sucesos dominados por elementos azarosos, más que por fuerzas sistemáticas (David, 1985, 332).

Esta es una expresión clara de la idea de que aspectos contingentes tienen capacidad explicativa independientemente de cómo encajan en un entramado de leyes. Más en general, el concepto de *dependencia de trayectoria* alude a una sucesión de sucesos, algunos de los cuales (por lo menos) influyen en la actualización de un estado subsiguiente de manera fortuita, sin que tal influencia pueda ser explicada a través de leyes generales. Un ejemplo intuitivo de lo que es un proceso dependiente de trayectoria es la manera como el cauce de un río se va haciendo y fijando en un determinado terreno. Conforme pasa el tiempo y las rocas se van erosionando cada vez es más difícil que otros factores, como el aumento de caudal, modifiquen el cauce. Brian Arthur ofrece un ejemplo que es ya también famoso, el de la urna de Polya (Arthur, 1990). Esta urna contiene bolas de diferentes colores. La regla que nos dice cómo va cambiando la composición de la urna es la siguiente: la probabilidad de agregar una bola de un color es igual a su proporción actual. Así, si al inicio hay una leve mayoría de bolas de un color la regla promueve (con una alta probabilidad) que conforme pasa el tiempo hayan cada vez más bolas de ese color.

Estos ejemplos son ilustrativos de lo que economistas como David y Arthur consideran que son ejemplos de procesos dependientes de trayectoria. Son procesos guiados por cambios que a su vez aumentan las probabilidades del cambio en la dirección previa al mismo. Los economistas reconocen que cuestiones como el aprendizaje de determinadas técnicas o los costos relacionados con el establecimiento de nexos o coordinaciones entre empresas son fuerzas que desde el pasado tienden a generar cambios tecnológicos dependientes de trayectoria. Es claro que si un empleado ha aprendido una cierta manera de hacer las cosas esto hace difícil que aprenda otra.

Los factores que pueden tender a fijar una trayectoria y hacerla resistente al cambio pueden ser de muy diversos tipos. La familiaridad con instrumentos o técnicas, el tipo de instituciones o de arreglos sociales en los que la trayectoria se desenvuelve, factores económicos como los mencionados arriba, factores cognitivos que juegan un papel en la evaluación de riesgos, etc. El concepto de trayectoria tecnológica ha sido usado en

muchos contextos y con fines muy diferentes. Por ejemplo, para explicar decisiones de empresas, la emergencia de regiones como el valle del Silicón (la famosa región en la que se ha desarrollado mucha de la tecnología de computadoras). Una manera de entender estos cambios es diciendo que los accidentes históricos resultan en fenómenos que se fijan en posibilidades que tienden a preservar ineficiencias en el mercado, algo que va en contra de la teoría económica neo-clásica, precisamente porque parece sugerir que aspectos contingentes del mundo tienen poder explicativo.

Así, se puede cuestionar este concepto de proceso dependiente de trayectoria si se cuestiona el supuesto de que esos procesos entran en conflicto con los modelos neoclásicos. Liebowitz y Margolis (1990) hacen precisamente esto. Reinterpretan ejemplos como los del teclado QWERTY para tratar de mostrar que esa elección no llega a cuestionar el principio de optimización de las elecciones. Esto deja abierta la posibilidad de que ese tipo de procesos sean compatibles con una explicación basada en los mecanismos de la economía neoclásica. Pero esto sólo es una objeción a modelos como el de David, si se piensa que este tipo de modelos tienen importancia sólo como posibles excepciones a la economía neoclásica. Esto, sin embargo, no agota la importancia de estos modelos.

Al margen de si los procesos dependientes de trayectoria cuestionan o no a la economía neoclásica, es indudable que la discusión tiene que ver con los criterios respecto de los cuales juzgamos si un proceso es o no eficiente o, más en general, si un tipo de proceso cambia para mejorar en una cierta dirección, o no. Decidir esto no es fácil. Depende del tipo de instituciones u organizaciones que articulen los agentes colectivos que juegan un papel en la evaluación de una trayectoria. En otras palabras, la dependencia de trayectoria no debe verse únicamente como dependiente de sucesos aislados que podemos caracterizar como "físicos", como el tipo de restricción que da lugar a los teclados QWERTY. Una trayectoria muchas veces depende de instituciones u organizaciones de diferente tipo que juegan un papel en la conformación de las posibilidades abiertas en un determinado momento, y en su evaluación. Por ejemplo, la trayectoria tecnológica de los reactores

civiles para la producción de energía eléctrica depende hoy en día de cómo se establezcan alianzas y compromisos entre diferentes instituciones y organizaciones de muy diverso tipo, muchas de ellas no dependientes de un gobierno. Parte de la discusión es acerca del grado de seguridad que ofrecen, pero esa discusión no es independiente de muchas otras discusiones, por ejemplo, de la discusión acerca de si la Unión Europea debe gastar más dinero en tecnologías alternativas o aprobar nuevas directivas de consumo energético. Tampoco es independiente del grado de credibilidad de diferentes organizaciones (como las académicas o las ONG's) o gobiernos.

La industria nuclear ha tendido a presentar la discusión del uso de la energía atómica como una discusión entre expertos y un público ignorante de las cuestiones técnicas, el cual tiene que ser instruido para que entienda por qué la industria debe de promoverse. La trayectoria esperada por la industria tiene que remontar el obstáculo de la ignorancia de la gente. En esta visión se asume que la discusión es acerca de la presencia o existencia (o no) de hechos objetivos, que los no-expertos simplemente *no ven*. Esta misma actitud la toman muchas organizaciones que se oponen al desarrollo de la industria nuclear. Muchos ambientalistas tienden a presentar lo que ellos consideran "hechos incontrovertibles" que demuestran que la industria miente u oculta datos que claramente apuntan a razones para no desarrollar la industria. Sin embargo, una vez que se reconoce que los riesgos y las incertidumbres asociadas con el desarrollo de una tecnología no pueden caracterizarse como meras cuestiones objetivas, entonces es claro que la evaluación de una trayectoria tecnológica posible en el futuro no puede hacerse sin un complicado y difícil proceso de evaluación que obligue a los diferentes actores a establecer un diálogo a través del cual puedan evaluarse comparativamente diferentes valores (implícitos en diferentes organizaciones) que permitan llegar a una decisión que en cierto sentido siempre va más allá de la discusión en cuestión<sup>2</sup>. Este es el enfoque adoptado por variantes del constructivismo en los países escandinavos y Holanda, sobre todo. Una discusión sobre la viabilidad del desarrollo de reactores nucleares para la producción de energía eléctrica no depende

sólo de la evaluación de ciertos hechos, sino de la posición y la experiencia que diferentes autores (no sólo los expertos, sino los trabajadores o la comunidad en la que se localiza una planta) aportan en torno a la caracterización y evaluación del riesgo (experiencias cotidianas que indican que la integridad de un componente se altera al no contarse con personal en ciertos periodos del año, o la seguridad del personal disminuye debido a la carencia de trajes y equipos adecuados, etc.), evaluación que además es comparativa respecto a los diferentes valores y la manera como esos valores van a ser vulnerados o promovidos por ciertas trayectorias.

#### 4. El papel creativo de la historia

La principal dificultad de modelos de cambio tecnológico que rechazan el determinismo es la falta de claridad respecto a la manera como importa la historia. Usualmente se habla como si un modelo determinista no tuviera lugar para la historia. Estrictamente hablando esto es incorrecto. Las condiciones iniciales y los valores de los estados de los sistemas en un momento dado juegan un papel crucial en la posibilidad de decir cuál es el valor del sistema en un tiempo posterior. En un modelo determinista la historia juega un papel, pero éste se reduce a información sobre circunstancias que por sí mismas no explican nada, sino que explican solamente por que hay leyes que las toman como punto de referencia para marcar los puntos de inicio de los procesos a explicarse. En la medida que las leyes no dependen de cuestiones contingentes (i.e. son universales) las cosas no podrían ser de otra manera. Lo único que podría ser de otra manera son las condiciones iniciales, pero si esas condiciones son las mismas y la situación es la misma, entonces no hay diferentes posibles resultados. En otras palabras, si lo que queremos es entender por qué o cómo una cierta entidad ha llegado a ser lo que es, el pasado juega un papel en un modelo determinista, pero lo que es cuestionable en ese tipo de modelos es el tipo de pasado que juega un papel. Propuestas como las de David y Arthur mencionadas arriba, basadas en modelos de procesos dependientes de

trayectoria, tratan de explicar cómo algo llega a ser lo que es por medio de la atribución de poder explicativo a aspectos cualitativos y contingentes del mundo que no pueden caracterizarse como meras condiciones iniciales<sup>3</sup>.

Uno puede pensar, como estarían inclinados a pensar Heilbrunner y Elster, que la dependencia de trayectoria es en realidad una expresión de la no completitud de la descripción del estado inicial que se requiere para modelar la trayectoria. Esta es una posibilidad, pero si nos tomamos en serio tanto los avances de las ciencias naturales que han cuestionado los límites de este modelo de explicación, y si nos tomamos también en serio los avances de las humanidades y las ciencias sociales en torno a la tecnología de las últimas tres décadas, entonces esta opción debemos considerarla por lo menos como cuestionable.

Otra opción es que la dependencia de trayectoria consista en la acción de ciertos sucesos que ocurren a lo largo del proceso, sucesos que pueden tener consecuencias diferentes dependiendo de la manera como interaccionan con el proceso, algo que no es posible incorporar como un mero dato (condición inicial) en la descripción del proceso. Esta posibilidad es atractiva en el caso de procesos tecnológicos ya que se correlaciona con la pregunta acerca de hasta qué punto es posible para los agentes individuales y colectivos modificar su futuro de acuerdo a determinados valores, aspiraciones o intereses. ¿Hasta qué punto tienen capacidad los agentes (portadores de intenciones y valores) de sobrepasar, por lo menos a veces, las restricciones impuestas por condiciones históricas particulares? Si el no-determinismo fuera una consecuencia de la falta de información respecto al estado pertinente, entonces la idea de que la historia es crucial para entender las trayectorias tecnológicas sería ilusoria. Si supiéramos con suficiente detalle las condiciones iniciales, no habría lugar para ejercitar nuestra agencia. Pero si la trayectoria puede depender de eventos o intervenciones que suceden en el proceso, entonces se vuelve importante dilucidar qué tipo de "cosas" tienen qué tipo de consecuencias, y sobre todo, desde la perspectiva de su posible modificación o creación, qué tipos de trayectorias podemos tener.

## 5. Modificación y creación de trayectorias

Es pues claro entonces que un primer paso en esclarecer una propuesta no determinista va a consistir en establecer distinciones entre diferentes tipos de dependencia de trayectoria. En las ciencias naturales hay muchos tipos. Por un lado, tenemos dependencias como la que se ejemplifica cuando soltamos una canica que se desliza por la superficie interior de un platón semiesférico. Es muy difícil predecir exactamente la trayectoria que va a seguir la canica, pero podemos predecir que al final va a terminar en el centro del plato. Si hubiéramos puesto la canica fuera del plato seguramente no terminaría en el centro del plato, pero si la ponemos dentro, no importa donde, terminará ahí. Así pues, exactamente qué trayectoria va a recorrer la canica no es posible preverlo, pero el resultado final lo podemos prever. Por el contrario, en una reacción química auto catalítica pequeñas perturbaciones de un sistema en un estado no estable pueden terminar en estados finales muy diferentes (y no predecibles). Ambos casos constituyen procesos dependientes de trayectoria, pero son diferentes en un sentido importante. En un caso el resultado final es predecible, no tenemos que hacer nada cuando soltamos la canica para que termine en el centro del plato, a pesar de la multiplicidad de las posibles trayectorias; en el otro caso no importa que tanto podamos fijar las condiciones iniciales, no podemos prever el estado final. Se dice que la especiación es un proceso irreversible del segundo tipo, por ejemplo, porque es un proceso dependiente de trayectoria que no es determinista. En la biología hay muchos procesos que de manera interesante pueden considerarse como dependientes de trayectoria. Una discusión contemporánea en la filosofía de la biología tiene precisamente que ver con el sentido en el que los procesos evolutivos dependen de supuestos respecto a la historia del proceso. Stephen Jay Gould, el reconocido evolucionista, hizo famosa una manera de describir el sentido en el que la evolución biológica es un proceso dependiente de trayectoria: si volviéramos a correr la "película" de la vida tendríamos otras especies, y otro mundo, muy diferente del

actual. Este es un sentido importante en el que la historia importa.

Por supuesto, el sentido en el que decimos que la historia importa en este tipo de procesos depende de que podamos esclarecer lo que queremos decir con el contrafáctico "si corriéramos de nueva la película de la vida otra cosa resultaría". ¿Lo que resultaría va a depender solo del estado inicial, o va a depender de cuestiones azarosas que sucedan durante el desarrollo del proceso? No nos interesa aquí responder esta pregunta (ni podríamos hacerlo sin meternos en una discusión muy compleja y lejos de nuestros intereses presentes). Todo lo que queremos es apuntar que una vez que se reconoce el fenómeno de dependencia de trayectoria es importante tratar de caracterizar los diferentes tipos de dependencia para poder tener una mejor apreciación del tipo de cambio que podemos promover como agentes.

Las diferencias entre tipos de trayectoria susceptibles de modificación pueden depender de muchas cosas. Pueden depender únicamente de intereses que podemos en última instancia catalogar como económicos. En este caso, una vez que damos cuenta de cuáles son esos intereses, entonces podemos decir lo que es posible, y por lo tanto podremos predecir el rumbo de posibles trayectorias futuras. O bien, si asumimos que la conducta económica de los seres humanos puede explicarse por el principio de maximización de utilidades, entonces vamos a pensar que ese principio establece una noción ideal de trayectoria respecto a la cual debemos de calibrar nuestros esfuerzos y evaluar las diferentes tecnologías. Pero si atendemos a la idea que la tecnología y la sociedad se conforman mutuamente entonces debemos rechazar este tipo de propuestas. En este caso la evolución de una trayectoria tecnológica puede depender de sucesos contingentes que tienen lugar a lo largo de la misma, y por lo tanto el cambio tecnológico es dependiente de trayectoria.

Por supuesto que surgen una serie de cuestiones, como saber si la modificación de una trayectoria puede hacerse exclusivamente muy al inicio, en sus etapas tempranas, cuando se está gestando la trayectoria, como lo sugiere el concepto de *momentum* tecnológico de Hughes (1998, capítulo 6) o en qué medida dependen las diferentes

trayectorias de factores de conformación mutua que son controlables socialmente, a todo lo largo de la trayectoria. Una serie de experimentos sociales llevados a cabo en países como Holanda o Dinamarca, sugiere que es posible por lo menos en algunos casos monitorear desarrollos tecnológicos a lo largo de todas las etapas (el diseño, la construcción, el consumo), y con la intervención de actores muy diversos comprometidos en un proceso de aprendizaje (Rip, et al., 1995). Estos experimentos sugieren que los actores sociales, por lo menos en algunos casos, tienen la capacidad de influir en el tipo de trayectoria, no sólo en su dirección. En el caso de estas experiencias sociales, que ensayan nuevas formas de organización democrática, los actores construyen también una serie de medidas que aseguran que la trayectoria tecnológica puede modificarse en cualquier momento con relativa frecuencia, y no sólo en sus etapas tempranas o cuando solamente queda reaccionar ante sus implicaciones negativas. Es pues claro que es importante clasificar los tipos de factores que pueden influir el desarrollo de una trayectoria (de un determinado tipo).

Ahora bien, puede argüirse que la idea inicial de que los valores guían o pueden guiar el desarrollo social y el desarrollo tecnológico en particular no pueden ser sino una ilusión. El concepto de ideología marxista, por ejemplo, daba cuenta de la manera como una elite era capaz de manipular a otros grupos sociales en la medida que esos grupos manipulados tomaban como suyos valores que no correspondían a sus intereses. Otra manera de formular una idea de este tipo es precisamente a partir de un tipo de determinista tecnológico como el que proponía Ellul (Ellul, 1964). Ellul pensaba que la aparente libertad de los individuos en desarrollar su vida se daba en un marco macrosocial en el cual el desarrollo tecnológico imponía sus condiciones y que terminaba por determinar las acciones humanas. La aparente libertad de nuestras acciones tenía que ponerse en perspectiva, a nivel de sociedad la tecnología nos obligaba a vivir de cierta forma, de manera análoga a como la organización de una ciudad nos obliga a tomar ciertas rutas y no otras.

Hoy en día, a pesar del supuesto rechazo del determinismo tecnológico, es común oír opiniones en consonancia con este tipo de determinismo,

y en particular opiniones según las cuales valores e intenciones no juegan un papel en el desarrollo de la tecnología, y más en general en el desarrollo social. Si bien esos valores e intenciones pueden jugar un papel en el corto plazo y en situaciones relativamente particulares, a la larga no se piensa que haya realmente una correspondencia entre el estado final del sistema social y los esfuerzos de los agentes. Como en el caso de la canica en el platón, podemos pensar que modificamos el futuro porque si soplamos la canica en algún momento de su trayectoria vemos como se mueve en la dirección contraria a nuestro soplo, pero en realidad lo que hicimos fue sólo modificar su trayectoria localmente. El estado final no lo vamos a alterar.

## 6. Valores, tecnología y democracia

La idea de que la ciencia y la tecnología son autónomas, que se guían por una racionalidad instrumental que debe de servirnos como guía en la construcción de instituciones y, en última instancia, del futuro, fue un factor de democratización importante en los siglos pasados en la medida que promovía la secularización de las instituciones políticas. Pero en la medida en que la ciencia y la tecnología entran a formar parte de un orden tecnocrático (en el que la participación ciudadana en las decisiones políticas se sustituye cada vez por "expertos") la ciencia y la tecnología dejan de promover un orden democrático. Uno puede pensar que ese orden dictado por los expertos es el mejor orden posible, pero ciertamente no puede decirse que es un orden que es el resultado de un proceso democrático.

Si uno piensa que no tiene sentido hablar sobre democracia en relación con el desarrollo de trayectorias, por ejemplo, si uno piensa que el desarrollo de trayectorias sólo puede darse de acuerdo a normas abstractas y generales de eficiencia, entonces uno puede pensar que la mejor manera de alcanzar una sociedad democrática es promoviendo la separación entre nuestros valores y expectativas presentes del desarrollo tecnológico. Desde esta perspectiva la administración de la tecnología en una sociedad democrática se da

dentro de los organismos de representación política ya establecidos, no se requiere, y podría ser contraproducente, tratar de promover la democracia fuera de esos organismos establecidos. Queda claro que aquí hay una pregunta de fondo respecto a cómo están mejor servidos nuestros valores a largo plazo en el contexto de una sociedad democrática. Aquí nos interesa explorar posibles justificaciones axiológicas que apuntan a la necesidad de incorporar los procesos de modificación y generación de trayectorias tecnológicas en discusiones respecto a cómo buscar una sociedad democrática.

Como vimos, dependencia de trayectoria se refiere a la manera como ciertos arreglos que se dan de hecho modifican las posibilidades de desarrollos futuros alternativos. El control de trayectorias se refiere a la manera como diferentes agentes, organizaciones o instituciones logran crear, detener, o cambiar una determinada trayectoria en una dirección o con un objetivo determinado. Este control puede involucrar creación o modificación de trayectorias. La distinción entre creación y modificación de trayectorias no es muy clara, una misma trayectoria desde cierta perspectiva puede verse como una modificación y desde otra como la creación de una nueva trayectoria<sup>4</sup>. Por lo que dependencia de trayectoria y creación de trayectoria no pueden desligarse del todo. Se tiende a hablar de dependencia de trayectoria cuando la modificación (o no modificación) de una trayectoria parece ir en contra de lo que se considera la mejor manera de hacer las cosas, desde la perspectiva de ciertos valores. Se tiende a hablar de creación de trayectoria cuando es claro cómo una trayectoria parte de la intencionalidad de una agencia, o es el resultado de un proceso guiado por fines.

Mucho de la discusión sobre trayectorias se ha centrado en describir o caracterizar aquello que hace que la trayectoria siga a pesar de obstáculos o razones que invitarían a que la trayectoria cambiara o desapareciera. El caso del teclado QWERTY es un caso paradigmático. Pero algo similar se puede decir del motor de combustión interna. Cuando los motores para automóvil empezaron a desarrollarse había muchos tipos de modelos alternativos que rápidamente desaparecieron del panorama. Uno puede pensar que

la preeminencia del motor de gasolina es muy similar al caso QWERTY. Muchas historias del automóvil asumen que el desarrollo de la industria del automóvil es básicamente la historia de cómo el motor de gasolina se estableció como motor estándar para el automóvil. Usualmente estas historias empiezan contando la historia de los diferentes tipos de motores con los que se estaba experimentando, motores de vapor, eléctricos y de varios tipos de motores de dos tiempos. Y sobre la base de una comparación de estas propuestas se explica el resultado.

Pero no hay que dejar de lado la importancia que tiene toda una serie de factores sociales, y en particular organizaciones e instituciones, en la generación del mercado que hicieron viables las primeras fábricas y los primeros diseños (Rao y Singh, 2001). Incluso, no hay que subestimar la importancia de las premoniciones sobre lo que podría ser una sociedad motorizada. Thomas Edison expresaba una idea muy común entre por lo menos una cierta élite cuando decía que “es sólo cuestión de tiempo cuando los carros y camiones en todas las ciudades sean impulsados por motores” (Edison 1895, citado en Rao and Singh, 2001, 267). Este tipo de opiniones apuntan a valores y expectativas que pueden jugar un papel importante en la creación de una trayectoria.

El caso del desarrollo de la industria de turbinas de viento en Dinamarca ha sido bastante estudiado. Esta es una industria que hoy en día compite en el mercado mundial muy exitosamente, pero que su creación depende de toda una serie de apoyos institucionales que articulaban valores sociales ampliamente compartidos en varios segmentos de la sociedad danesa. Para empezar, a principios del siglo XX había varios ingenieros interesados en modernizar la producción agrícola en Dinamarca que reconocían la importancia de la electricidad como un recurso importante para el desarrollo. Muchos de ellos eran miembros activos de asociaciones y grupos de interés que promovían el desarrollo rural por medio de la formación de cooperativas de diferente tipo y el apoyo a proyectos educativos rurales. Todos estos grupos coincidían en pensar que los intereses de los campesinos iban a estar mejor servidos por métodos para la producción de electricidad que no fueran centralizados, y que en lo posible debería

ser una producción controlada por la comunidad, lo que en particular ponía especial énfasis en que la fuente de energía fuera renovable. Este patrón de expectativas no es un patrón de expectativas de individuos aislados, sino más bien debe verse como un patrón de expectativas que provienen de compartir estándares y valores que están articulados en instituciones y organizaciones de diverso tipo. Le Cour, un inventor de finales del siglo XIX y principios del siglo XX, era un miembro activo de las asociaciones de agricultores, promotor de la educación rural y un escritor visionario. Tenía claro que había una conexión importante entre el desarrollo de tecnologías centralizadoras y una tendencia anti-democrática en la organización social de su tiempo. En un artículo de 1906 Le Cour nos dice esto claramente:

[...] la mano de obra barata que ofrecen las máquinas de vapor ha llevado a que la gente se hace en los centros manufactureros y que se aumenten las poblaciones de las grandes ciudades en gran escala... La tecnología eléctrica lleva consigo un movimiento en la dirección contraria. Es un tipo de tecnología que promueve una mejor distribución de la población y que además promueve la transformación de empleados con un sueldo fijo a gentes de negocio (Le Cour, 1906, citado en Jorgensen y Karnoe, 1995, 59).

Como cuentan la historia Jorgensen y Karnoe, a través de la primera mitad del siglo XX esta motivación de Le Cour, con altibajos, promovió el apoyo a experimentos y proyectos tecnológicos de ingenieros que en los años setenta culminaron con la creación de diseños de turbina prometedores. Estos diseños no llegaron a producirse industrialmente porque para principios de los años sesenta del siglo pasado la idea generalizada entre los políticos era que la centralización de los medios de producción era la mejor manera de tener energía de manera eficiente. Cuando esta percepción cambió, en buena medida motivada por un creciente movimiento ciudadano en contra de la producción de energía eléctrica en plantas atómicas, un renovado apoyo a este tipo de tecnología llevó a finales de los años setenta al inicio de la industria que hoy en día es una de las industrias más importantes en la producción de

turbinas de viento. Por supuesto, no es casualidad que aquellos que cuestionaban la producción de energía eléctrica en centrales atómicas fueran de los principales impulsores a la producción de turbinas de viento.

La industria de las turbinas de viento es pues un buen ejemplo de cómo se crea una trayectoria tecnológica fuera de los canales que usualmente se piensa tienen que utilizarse para desarrollar tecnología competitiva. Pero este caso también es importante porque muestra cómo las motivaciones o visiones individuales tienen un impacto en la modificación o creación de trayectorias en la medida que esas motivaciones se articulan en instituciones y organizaciones sociales que son capaces de transformar esos valores en poder político centralizado.

El desarrollo de la industria de las turbinas de viento, como el desarrollo de la industria del automóvil requiere entender la manera como diferentes tipos de intereses y valores han jugado un papel en la manera como se ha desarrollado a través de su historia. Reducir esa historia a una explicación de cómo llegó a establecerse un cierto diseño tecnológico estudiando los planos y estructura funcional de los diferentes diseños deja mucho de lado. Por un lado, los entusiastas de una tecnología en ciernes, ya sean las turbinas de viento o el automóvil, pueden tener muchas motivaciones y estar guiados por intereses muy diversos.

En el caso del automóvil, al inicio de su desarrollo, estaban aquellos que pensaban que tener un automóvil podía ser importante profesionalmente, así como los grupos u organizaciones que representaban intereses que peligraban con el desarrollo de la industria del automóvil; por ejemplo, los criadores de caballos, los dueños de establos, y muchos otros para los que la industria del automóvil hacía peligrar sus medios de vida. Pero este tipo de intereses no explica todo. Muchos de los más grandes talleres constructores de carruajes se transformaron en fabricantes de automóviles (Studebaker, por ejemplo). Inicialmente construir un automóvil era una proeza artesanal. Cada auto era hecho prácticamente pieza por pieza, y por supuesto, no había estándares de nada. No había ni siquiera consenso respecto al tipo de freno ni el tipo de método de transporte que era

el automóvil. ¿Era para viajes largos o cortos? ¿Para viajar con la familia o para negocios o uso profesional? (Thomas, 1977; Rao y Singh, 2001). Para que empezara a establecerse un consumo estable de esa tecnología tenía que establecerse un cierto patrón de expectativas respecto a lo que era el automóvil y lo que podía esperarse de él. Este patrón de expectativas no es algo que posean individuos aislados, sino que más bien debe verse como un patrón de expectativas que proviene de compartir estándares y valores que están articulados en instituciones y organizaciones de diverso tipo que pueden verse como el ambiente en el que se desarrolla una nueva tecnología.

Pero es importante también hacer notar que muchas veces hay fuerzas sociales que se oponen a la creación de una trayectoria tecnológica. En el caso del automóvil varios grupos y organizaciones civiles jugaron un papel muy importante en la medida que se opusieron de diversas maneras al desarrollo de automóvil. Por un lado, muchas organizaciones de granjeros se opusieron al desarrollo de la industria automotriz hasta el punto que araron los caminos para hacerlos impasables para los automóviles. Habían quejas respecto al ruido que hacían, que espantaba a los animales en las granjas, o respecto al polvo que levantaban, que arruinaba cosechas (Rao y Singh, 2001). Varias organizaciones de granjeros exigían a principios de siglo que se prohibiera el uso del automóvil fuera de las ciudades. Estos grupos hicieron ver que los autos viajaban muy rápido (muchas veces a más de 20 kms por hora), exigieron y lograron que se establecieran límites de velocidad. Estos grupos ofrecían recompensa a una persona que proporcionara información que llevara a la condena de infractores y muchas veces utilizaban recursos fuera de la ley, como tirar clavos a los automóviles que se consideraba iban a velocidad excesiva o incluso a veces disparaban a las llantas. Esto llevó, como parte de una negociación, al desarrollo de un procedimiento obligatorio de registro del automóvil y del uso de licencias que pudieran ser visibles desde lejos para poder identificar a los infractores. Y por supuesto, es importante el tipo de motivaciones económicas de los fabricantes de automóviles que promovieron cambios en las ciudades que favorecían el uso del automóvil, hasta el punto

que empezaron a comprar sistemas de transporte público en varias ciudades para cerrarlos.

Rao y Singh hacen una comparación de la historia inicial del desarrollo de la industria automotriz con el desarrollo de la biotecnología. Hacen ver como en el caso de la biotecnología hay también una serie de factores que juegan un papel en la conformación del desarrollo de la biotecnología (y la manera como se concretiza en trayectorias tecnológicas). De manera similar a como los mismos fabricantes de automóviles buscaron durante muchos años establecer instituciones reguladoras de la industria que surgieran de acuerdo entre los fabricantes y no se impusieran de fuera, los científicos buscaron "establecer las condiciones en las que la investigación podría o debería proceder" (Kennedy, 1986, citado en Rao y Singh, 2001, 257). Como vimos, esto llevo incluso a una moratoria mundial "auto-impuesta" por los propios científicos respecto a investigación con virus capaces de inducir tumores y con genes responsables de la producción de toxinas poderosas. Es ciertamente interesante e instructivo ver los varios paralelismos que pueden observarse entre el desarrollo de la industria del automóvil y de la biotecnología, así como con el desarrollo de las turbinas de viento que examinamos arriba. Por supuesto que como Rao y Singh hacen ver en el caso de la comparación entre el desarrollo de la industria del automóvil y la biotecnología, hay diferencias importantes. El papel del gobierno de los EEUU en los dos casos es diferente. En el primer caso el gobierno juega un papel a través de agencias estatales y promoción de financiamiento y establecimiento de impuestos y lineamientos reguladores. En el segundo caso el gobierno directamente decide sobre cómo pueden y deben entenderse en el nuevo contexto los derechos de propiedad y legisla sobre la manera como se controlan los medios de producción.

Lo que es particularmente interesante para nosotros es notar que este tipo de decisiones lleva a modificar el concepto mismo de lo que es ciencia y lo que es un científico. Una decisión sobre derechos de propiedad intelectual cambia profundamente el papel del científico en la sociedad. El científico a partir de esa decisión puede ser un científico-empresario, algo que no era posible

anteriormente. Las instituciones científicas antes de esta decisión legal se distinguían claramente de otro tipo de instituciones, a partir de esa decisión la distinción empieza a borrarse.

Este tipo de decisiones tienen también otro tipo de consecuencias. En la medida que el marco legal para la innovación se vuelve muy complejo y depende mucho de patentes que requieren que sean hechas por personas especializadas no sólo en las cuestiones técnico-científicas sino legales y administrativas, la comunicación de la información tiende a restringirse y a volverse inservible para el tipo de desarrollos tecnológicos en pequeña escala que hicieron posible la industria de turbinas de viento danesas. Los cambios en el marco legal en el cual se legisla sobre la innovación tecnológica basada en un sistema de patentes tiene profundas implicaciones para el tipo de trayectorias que pueden desarrollarse en una sociedad.

## 8. Legislación, dependencia y creación de trayectorias

De lo dicho en las secciones anteriores resulta claro que ciertas decisiones legales pueden tener implicaciones importantes para el desarrollo de trayectorias tecnológicas, y que este tipo de implicaciones son en un sentido análogas al tipo de dependencia de trayectorias de sucesos específicos que ejemplifica el caso QWERTY. La legislación, algo que tiene lugar en un tiempo y lugar determinado, y que a partir de entonces marca el desarrollo de la trayectoria, la inhibe, o la promueve. En el caso de la industria del automóvil las disposiciones legales que obligaron a los fabricantes a adecuarse a normas de seguridad marcan el desarrollo de una trayectoria de manera similar a cómo lo marca el establecimiento de un patrón de teclado. Pero en el caso de una decisión legal, a diferencia del tipo de sucesos tipo QWERTY las implicaciones van teniendo lugar a lo largo del tiempo, se van desarrollando, ramificando, especializando y teniendo consecuencias dependiendo del contexto. Diferentes tipos de dependencias se entretajan de muy complejas maneras en instituciones y prácticas sociales. Por

ejemplo, algunos accidentes famosos que involucraban automóviles llevaron a la creación de leyes que modificaron el tipo de seguridad y las responsabilidades que podrían tener los fabricantes respecto a los productos que lanzan al mercado. Accidentes posteriores agregaron nuevas regulaciones y leyes. La manera como usualmente se presenta un "accidente" tipo QWERTY es como si se tratara de un hecho contingente que permanece totalmente aislado y que su significación puede verse independientemente de la historia posterior. Esto puede ser el caso para algunos casos, pero no es lo más común.

En el caso de la industria del automóvil disposiciones legales acerca de la seguridad exigible a los fabricantes tiene implicaciones que no pueden preverse por adelantado. Esas disposiciones entran de lleno en una discusión más amplia respecto al tipo de responsabilidades exigibles a fabricantes de productos industriales y respecto a la manera en la que esa responsabilidad puede determinarse, lo que a su vez se conecta con toda una discusión respecto a qué tanto podemos controlar los diferentes factores que entran en el diseño y la producción industrial. Si un niño se enreda con un cable de cortina y se ahorca tendemos a pensar que es un error de diseño y, sobre todo en los EEUU, el fabricante muy probablemente va a ser llevado a juicio. Esto lleva a modificaciones de diseño en todos los artefactos y a advertencias en las instrucciones de uso. Por ejemplo, en los automóviles las innovaciones tecnológicas van acompañadas cada vez más de toda una serie de estudios legales sobre las posibles implicaciones que pueda tener cada nuevo diseño, y respecto a qué tipo de material puede usarse para construir un tanque de gasolina, o un tornillo. Este tipo de implicaciones continuas de una decisión (o marco legal) pueden jugar un papel amplificador o neutralizador de un factor tipo QWERTY.

En la industria temprana del automóvil fueron importantes obreros calificados y artesanos capaces de trabajar el hierro, pero muy pronto dieron lugar a profesiones que permitían una manera más flexible y mas estandarizada de producir y de aprender el tipo de capacidades que se requerían en la industria del automóvil. Algo similar sucede en el caso de la biotecnología. Muchas profesiones, pero en particular la profesión de biólogo molecular, en

combinación con el tipo de laboratorios y conexiones profesionales asociadas jugaron un papel muy importante en la conformación temprana de trayectorias tecnológicas en biotecnología.

En el caso QWERTY podemos decir que la fijación con un diseño del teclado tiene que ver con rasgos distintivos de nuestras capacidades cognitivas. Podría ser que el chino fuera un lenguaje mas apropiado para ser usado en interfases de robots, por ejemplo, pero estaría fuera de consideración que todos aprendiéramos chino por eso. Hablar un idioma es un tipo de capacidad que no podemos simplemente cambiar, como no podemos simplemente cambiar la disposición del teclado y seguir escribiendo en él como si nada hubiera pasado. QWERTY es importante como un ejemplo de un suceso históricamente determinado y "accidental" que marca el desarrollo de una tecnología. Esto, en realidad, no es nada extraordinario. Este es un ejemplo de un tipo de constreñimiento asociado con el tipo de estructuras cognitivas que nos permiten aprender una cierta práctica, pero que por cuestiones de nuestra estructura cognitiva nos hace difícil luego simplemente desaprenderla y aprender otra. Esto es algo general en tanto una trayectoria involucra capacidades cognitivas que pueden considerarse como parte integral de los agentes.

Es indudable que las trayectorias tecnológicas asociadas con la industria del automóvil dependen de varias determinaciones o condiciones cognitivas que son propias de los seres humanos. Tenemos una visión muy desarrollada en particular para poder determinar distancias con relativa exactitud. Si no tuviéramos esa capacidad o estuviera menos desarrollada, quizás los automóviles nunca se hubieran desarrollado, porque los grupos opuestos al desarrollo de esa tecnología podrían haber convencido a los legisladores que era una tecnología que había que prohibir. O quizás se hubiera desarrollado el automóvil de una manera muy distinta, a través de autobuses con choferes especializados, por ejemplo, o con carreteras en un solo sentido y con restricciones en la velocidad que los automóviles pudieran alcanzar. Si no tuviéramos la coordinación muscular que tenemos y la capacidad de reaccionar con relativa rapidez a potenciales peligros, la industria del automovil difícilmente

se hubiera desarrollado de manera similar a cómo se desarrolló. En un sentido esto es trivial, pero es importante reconocer que estas cosas triviales tienen importantes implicaciones en la conformación de una trayectoria tecnológica.

El punto es que como en el caso de QWERTY, la manera como se desarrolla el automóvil está condicionada por toda una serie de factores, algunos de los cuales están en el trasfondo biológico o cognitivo, y en ese sentido llevan a restricciones que son parte de la tecnología sin que tomemos fácilmente conciencia de ello. Si, por ejemplo, los gases del escape fueran mucho más tóxicos de lo que son, entonces muy probablemente no se hubiera implantado el motor de gasolina como el estándar. En otras palabras, el tipo de seres que somos social y biológicamente condiciona las trayectorias tecnológicas.

Ahora bien, una vez que aceptamos que dependencia de trayectoria es un fenómeno importante, y que como hemos visto no se reduce a fenómenos aislados tipo QWERTY, sino que se refiere a todo tipo de factores entrelazados y mutuamente dependientes que juegan un papel en constreñir o promover el desarrollo de una tecnología en una cierta dirección, o en promover la hibridación y la especiación de trayectorias, queda claro que el fenómeno de dependencia de trayectoria juega un papel muy importante en la generación y estabilización de nuevas tecnologías, y por lo tanto en cualquier modelo del cambio tecnológico con poder explicativo.

## Notas

- 1 Ver por ejemplo Martínez 1997 y varios de los artículos en Martínez y Barahona 1998.
- 2 Como ha sido ampliamente discutido en la filosofía de la ciencia, es muy difícil establecer una distinción entre valores cognitivos o epistémicos y valores no cognitivos de una manera general y tajante. Aquello que muchas veces se consideran hechos son en buena parte construcciones, en el sentido de "positividades" que se sustentan sobre determinadas prácticas o perspectivas que involucran valores y normas. Es pues claro que la evaluación de una trayectoria no es algo que pueda hacerse independientemente de perspectivas axiológicas articuladas en prácticas, instituciones u organizaciones.
- 3 Estos son aspectos que, en terminología aristotélica, estarían más bien caracterizados como causas formales que como causas eficientes.
- 4 El concepto de creación de trayectoria originalmente se sugiere en Karnoe y Garud 1995. Diferentes maneras de entender el concepto de dependencia de trayectoria pueden encontrarse en Garud y Karnoe 2001.

## Bibliografía

- Arthur, B. (1990) "Positive Feedback in the Economy". En *Scientific American*, (Febrero), pp. 92-99.
- David, P. A. (1985) "Clio and the Economics of QWERTY". En *The American Economic Review*, Vol. 75, No. 2, pp. 332-372.
- Dreyfus, H. (2003) "Anonymity versus Commitment: The Dangers of Education on the Internet". En Scharff, R., Dusek, V. (eds.), *Philosophy of Technology: An Anthology*, Blackwell, Cambridge, pp. 578-584.
- Ellul, J. (1964) *The Technological Society*. New York: Knopf.
- Elster, J. (1983) *Explaining Technical Change*. Cambridge: Cambridge University Press. (Existe traducción al castellano: 1990. *El cambio tecnológico*, trad. Margarita Mizraji, Gedisa, Barcelona.)
- Garud, R., Karnoe, P. (eds.) (2001) *Path Dependence and Creation*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Heilbroner, R. L. (1994) "Technological Determinism Revisited". En Smith y Marx (eds.), *Does Technology Drive History?* Cambridge: The MIT Press, p. 67-78.
- Hughes, T. P. (1998) *Rescuing Prometheus*. New York: Pantheon Books,.
- Jorgensen y Karnoe, P. (1995) "The Danish Wind-Turbine Story" En Rip, A., Misa, T., Schot, J. (eds.), pp 57-82.
- Karnoe, P., Garud, R. (1995) *Path Creation and Dependence in the Danish Wind Turbine Field*. Copenhagen: Working paper, Institute of Organization and Industrial Sociology, Business School.
- Liebowitz, S. J., Margolis, S. E. (1990) "The fable of the keys". En *Journal of Law and Economics*, 22, pp. 1-26.
- Mackenzie, D., Wajcman, J. (eds.) (1985) *The Social Shaping of Technology: How the Refrigerator Got Its Hum*. Milton Keynes: Open University

Press., (La segunda edición de 1999 fue publicada por The MIT Press).

Martínez, S. (1997) *De los efectos a las causas*. México: Paidós-Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM.

Martinez S. Barahona A. (1998) *Historia y Explicación en biología*. Mexico: Fondo de Cultura Económica.

Rao, H., Singh, J. (2001) "The Construction of New Paths: Institution-Building Activity

in the Early Automobile and Biotech Industries". En Garud y Karnoe (eds.). pp. 243-267.

Rip, A., Misa, T. J., Schot, J. (eds.), (1995) *Managing Technology in Society. The Approach of Constructive Technological Assessment*. London: Pinter Publishers.

Thomas R. P. (1977) *An analysis of the patterns of growth of the automobile industry 1895-1929*. New York: Arno Press.