

LA EVOLUCIÓN DE TÉCNICAS Y FENÓMENOS: HACIA UNA EXPLICACIÓN DE LA “CONFECCIÓN” DEL MUNDO*

SERGIO F. MARTÍNEZ Y EDNA SUÁREZ
UNAM

Darwin ha despertado el interés por la historia de la tecnología natural, esto es, por la formación de los órganos vegetales y animales como instrumentos de producción para la vida de plantas y animales. ¿No merece la misma atención la historia concerniente a la formación de los órganos productivos del hombre en la sociedad, a la base material de toda organización particular de la sociedad? ¿Y esa historia no sería mucho más fácil de exponer, ya que, como dice Vico, la historia de la humanidad se diferencia de la historia natural en que la primera la hemos hecho nosotros y la otra no? K. Marx (1873) [1985].

Introducción

Los estudios sobre la tecnología y el cambio tecnológico han proliferado en la última década. Sin embargo, el problema filosófico de la relación entre cambio científico y cambio de técnicas persiste en gran parte sin explorar. Recientemente varios autores (Pickering 1989, Hacking 1992) han planteado este problema señalando la importancia de un proceso de *ajuste* o “*confección mutua*” que parece existir entre técnicas, objetos científicos (fenómenos) y conoci-

* Este artículo ha sido parcialmente apoyado por el proyecto de la DGAPA (UNAM) IN400794 y el proyecto 4337-H del CONACYT.

miento (articulado en términos de modelos de fenómenos). Esta manera de plantear el problema, aunque fructífera, parte por lo general de una concepción sobre la naturaleza del conocimiento que conduce a la idea de la confección como una mera metáfora, simplemente como otra manera de referirse al hecho del ajuste o adaptación entre estos elementos. En este artículo nos interesa presentar un *modelo de la evolución de las técnicas experimentales* que permita elaborar la idea de la confección del mundo no como metáfora sino como el resultado de un proceso adaptativo. Para ello, a manera de guía en la presentación del modelo y de la respuesta basada en éste, se desarrolla el caso de una de las técnicas experimentales más utilizadas en la década de los sesenta en lo que después sería la disciplina llamada Evolución Molecular: las técnicas de hibridación de ácidos nucleicos.

El proceso adaptativo al que nos referimos genera el tipo de conocimiento que se articula en las tradiciones experimentales de la ciencia y, más concretamente, en la construcción y estabilización de fenómenos. Argumentaremos que este proceso de construcción de fenómenos se constituye en *linajes* de fenómenos y que cumple con los criterios de un proceso seleccionista, de modo que podemos hablar de evolución de técnicas experimentales en un sentido literal y no meramente metafórico.

En la sección 1 hacemos una presentación general del problema al que nos vamos a referir, y de cómo se ha expuesto en la literatura reciente. En la sección 2 exponemos las características generales de los procesos seleccionistas, lo cual nos permitirá, en la sección 3, hacer ver que el tipo de conocimiento distintivo de las tradiciones experimentales cumple con dichas características. En la sección 4 ilustraremos, con el caso de las técnicas de hibridación, el tipo de variaciones que permiten modelar el proceso de la estabilización y el atrincheramiento de técnicas y fenóme-

nos como un proceso seleccionista. En la sección 5 introducimos un concepto de adecuación apropiado al proceso de evolución de técnicas y fenómenos al que aquí nos referimos, y examinamos algunos aspectos importantes del proceso del atrincheramiento y la diversificación de técnicas como un proceso causal seleccionista. Presentaremos en esta sección ejemplos de técnicas experimentales que fueron importantes en los inicios de la Evolución Molecular en la década de los sesenta. Por último, en la sección 6 utilizamos nuestro modelo de la evolución de técnicas y fenómenos para explicar un sentido importante en el que el mundo es el resultado del ajuste o confección de diferentes recursos materiales y cognitivos. Quede advertido el lector que no pretendemos dar respuesta a todas las preguntas generadas por la aparente confección mutua de técnicas, fenómenos y teorías. Nos interesa hacer ver la pertinencia de nuestro modelo para esa tarea, sin pretender que con él podamos explicar todos los aspectos, filosóficamente importantes, implícitos en la idea del mundo como confección.

1. *Los problemas de la técnica*

En los últimos años han proliferado los estudios históricos sobre artefactos tecnológicos y prácticas experimentales realizadas en los laboratorios, así como los estudios sobre el papel que estos elementos cumplen en la sociología del conocimiento. Los resultados de estos estudios han puesto en la mesa de discusión una variedad de problemas y perspectivas en torno a las técnicas y la tecnología. Destaca, por ejemplo, la perspectiva de los *estudios sociales de la tecnología* [*social studies of technology*, o *social construction of technology studies*, *SCOT's*]. Dicha perspectiva parte del análisis *retórico* de la tecnología, esto es, de los distintos significados que adquiere un artefacto en diferentes comunidades (científicas, financieras, políticas), caracterizadas por

intereses particulares. El problema de la tecnología, desde esta perspectiva, consiste en explicar cómo los distintos intereses de esas comunidades se pueden traducir o negociar de modo tal que se movilen recursos para la construcción y utilización de dichos artefactos. El análisis retórico de la técnica se ejemplifica en los trabajos de Pickering (1986) sobre la cámara de partículas, Elzen (1986) sobre la ultracentrífuga, Kay (1988) sobre la electroforesis, y Rasmussen (1993) sobre el microscopio electrónico, entre otros.

El problema que nos interesa en este trabajo es otro: explicar la relación estrecha que existe entre el desarrollo técnico y la estructura del conocimiento científico. Más específicamente, nuestra preocupación central consiste en explicar un hecho que ha llamado la atención de algunos “filósofos del experimento” como Hacking (1983, 1992) y Pickering (1989). Este “hecho” es el del *ajuste, coherencia* o *adaptación* que paulatinamente se construye entre nuestros artefactos y técnicas, los objetos y fenómenos construidos con ellos, y nuestros modelos explicativos de esos fenómenos. A pesar de que los elementos que pueden entrar en la lista de esta relación varían de autor en autor, en general se habla de una relación tripartita entre fenómenos, técnicas y modelos.

Esta formulación general del problema nos parece correcta y nuestro modelo apunta a dar una solución al mismo. Es importante señalar, sin embargo, que no pretendemos agotar todos los aspectos de la pregunta y, más aún, que existen diferencias importantes entre nuestro planteamiento y el de estos autores. Tales diferencias se localizan especialmente en la noción de conocimiento que parece estar implícita en la manera en que Pickering (1989) plantea el problema. El objetivo de Pickering consiste en estudiar la relación entre nuestras prácticas conceptuales y materiales, entre nuestros “logros” [*performances*] en

el mundo material, y nuestra comprensión de ellos. Dice Pickering:

The first point to note is that, in a typical passage of experimental activity, there is *no* apparent relation between the three elements. Incoherence and uncertainty are the hallmarks of experiment, as reported in ethnographic studies of laboratory life. But, at the moment of fact-production, their relation is one of *coherence*. Material procedures, to be more explicit, when interpreted through an instrumental model, produce facts within the framework of a phenomenal model [...] I argue that coherences between material procedures and conceptual models should be seen as *made* things, as actors achievements, and not as arising naturally and uniquely from the material world itself. But I maintain a noncorrespondence realist perspective on the making of coherence. [I]f one examines the evolution of passages of experimental practice in time, it becomes clear that scientific knowledge is articulated in accomodation to *resistances* arising in the material world [...] I suggest that material procedures and conceptual models should be seen as *plastic resources for practice*. And I further suggest that experimental practice should be understood in terms of the deformation and moulding of such resources, with the *objective* of achieving the three-way coherence in which facts are sustained [...] naturalness itself arises from the achievement of coherence (*ibid.*, p. 278–279, las cursivas son nuestras).

Para Pickering está claro que las prácticas materiales de los científicos, es decir, su interacción con el mundo material, desempeñan un papel central en la producción de conocimiento. La coherencia entre procedimientos materiales, modelos fenoménicos y hechos (fenómenos) es producto de un esfuerzo, es algo *hecho*, no natural. Las *deformaciones plásticas* de los procedimientos materiales y de los modelos conceptuales se entienden, en parte, como un acomodamiento a las resistencias que opone el mundo material (*ibid.*, p. 280).

Sin embargo, nos parece que en la noción de Pickering de una “coherencia” que se construye a partir de la “incoherencia” inicial entre los tres elementos, se encuentra implícita la idea de que los aspectos conceptuales del conocimiento y los aspectos materiales se encuentran separados, esto es, que cada uno pertenece a una dimensión distinta del mundo. Pareciera, pues, que este autor se plantea el problema a partir de una noción dualista de la relación entre nuestra estructura conceptual y nuestra experiencia del mundo material. Pickering dice:

These three elements span the material and conceptual dimensions of experimental practice, and it is in this spanning of the two dimensions that connections between the material world and scientific knowledge of it are to be sought (1989, p. 277).

Ahora bien, como haremos ver en nuestro modelo, creemos que una respuesta adecuada al problema de cómo se alcanza la coherencia entre los distintos elementos del conocimiento tiene que tomar más en serio la idea de que los recursos conceptuales y los recursos materiales se van conformando mutuamente.

Hacking (1992), por su parte, explica el ajuste entre los tres elementos (fenómenos, técnicas y modelos) mediante una tesis “materialista” que extiende la tesis original de Duhem:

Duhem said that a theory and auxiliary hypothesis can be adjusted to each other; he left out the whole teeming world of making instruments, remaking them, making them work, and rethinking how they work. It is my thesis that as a laboratory science matures, it develops a body of types of theories and types of apparatus and types of analysis that are *mutually adjusted to each other*. They become what Heisenberg (e.g. 1948) notoriously said Newtonian mechanics was, a

“closed system” that is essentially irrefutable. They are *self-vindicating* in the sense that any test of theory is against apparatus that has evolved in conjunction with it —and in conjunction with modes of analysis. Conversely, the criteria for the working of the apparatus and for the correctness of analysis is precisely the *fit* with theory [...] The theories of the laboratory sciences are not directly compared to “the world”; they persist because they are true to phenomena produced or even created by apparatus in the laboratory and are measured by instruments that we have engineered [...] The crude idea of my thesis [...] is hardly novel. Our preserved theories and the world *fit* together so snugly less because we have found out how the world is than because *we have tailored each to the other* (Hacking 1992, pp. 30–31, las cursivas son nuestras).

Hacking usa las palabras “ajuste”, “adaptación” y “auto-vindicación” para referirse al hecho de que fenómenos, teorías (entendidas como modelos de fenómenos) e instrumentos, se adecuan dando lugar a un “sistema cerrado”. La explicación que proporciona Hacking de este hecho consiste en recurrir a la metáfora del “sastre”: los diferentes aspectos se construyen o *confeccionan* mutuamente. Los “sistemas cerrados” son producto de un esfuerzo práctico y material, no solamente “conceptual”, en esa dirección.¹

Nuestra propuesta puede verse como una elaboración de esta metáfora de Hacking y, con las restricciones mencionadas anteriormente, de la idea de Pickering. Sin embargo, Hacking, como Pickering, no nos dice en qué consiste el proceso de confección, ni los elementos (materiales y cognitivos) que se requieren para que dicho proceso ocurra. Esto es, ninguno de estos autores tiene una explicación del

¹ Así lo enfatiza Hacking en una nota: “Self-vindication is a material concept, pertaining to the way in which ideas, things and marks are mutually adjusted” (Hacking 1992, p. 51).

hecho de la adaptación entre técnicas, fenómenos y modelos.²

Pese a las diferencias que pueden encontrarse en la manera como estos dos autores plantean el problema, lo central para nuestro propósito es que tanto para Pickering como para Hacking las técnicas experimentales (procedimientos materiales) no son instrumentos rígidos que simplemente nos facilitan el acceso a un mundo materialmente dado. Duhem nos hizo ver las implicaciones epistemológicas del reconocimiento de la flexibilidad de los modelos, y estos autores sugieren que ya es tiempo de empezar a explorar las implicaciones epistemológicas de la plasticidad de los instrumentos y técnicas.

El acoplamiento y, añadiríamos nosotros, la diversidad de estos tres elementos es un hecho que requiere explicación. Es tanto un resultado como un proceso. Más aún, sostenemos que es un *tipo* de hecho que tiene las características de un proceso evolutivo y que, por lo tanto, es susceptible de explicarse como tal. Otros procesos que no son necesariamente el de evolución biológica pueden explicarse como procesos evolucionistas producto de la selección de variantes. Ejemplos de éstos son el desarrollo del sistema inmune (véase, por ejemplo, Söderqvist 1994)

² En el marco de la concepción tradicional de la ciencia, el tipo de problemas que nos planteamos aquí (y al que Hacking y Pickering hacen referencia en los trabajos mencionados) no tienen cabida. Tomar en serio el tema de la autonomía de las diferentes tradiciones científicas y, en particular, la autonomía de las tradiciones experimentales, requiere abandonar importantes supuestos implícitos en esa concepción tradicional. En Martínez (1995) se examinan dos de esas presuposiciones que es necesario abandonar para elaborar un concepto pertinente de autonomía, la presuposición newtoniana y la presuposición laplaciana. En este artículo subrayamos la pertinencia de abandonar la presuposición newtoniana, que consiste en asumir que es posible hacer una distinción metodológicamente significativa entre los aspectos legales (necesarios) del mundo, y los aspectos contingentes que entran sólo como meras condiciones antecedentes en las descripciones teórico-legales.

y la formación de redes neuronales (véase, por ejemplo, Edelman 1987).

Ahora bien, todo proceso evolucionista tiene dos aspectos (de los que posteriormente hablaremos con más detalle). El primero consiste en la transformación, por medio de diversos procesos causales, de las restricciones [*constraints*] que constituyen la “base material” de todo proceso evolutivo. Un sistema material “se resiste” a ciertos cambios y se presta a otros, y esta resistencia debe verse como el origen de las limitaciones a “la plasticidad” de los recursos materiales de los que habla Pickering. El segundo aspecto de un proceso evolutivo consiste en la selección de algunas de las variantes que son producto de esas transformaciones.

Tradicionalmente, el papel que las restricciones materiales desempeñan en un proceso evolutivo se minimiza hasta el punto en que no entran como un factor decisivo en una explicación seleccionista. Las restricciones materiales se ven más bien como obstáculos que como participantes activos de la explicación. En contraste, queremos recalcar el papel activo que desempeñan las propiedades características de los materiales que se someten a la selección en la explicación de un proceso evolucionista. Nuestro modelo, pues, busca *explicar* causalmente la sorprendente coherencia, producto de un proceso en esa dirección, entre fenómenos, técnicas y modelos, de la que dan cuenta autores como Hacking y Pickering.

2. *Los procesos seleccionistas*

A finales de los años cincuenta, Donald Campbell empieza a desarrollar aplicaciones de la teoría de la evolución en teorías de la percepción y el aprendizaje, y en su artículo “Evolutionary Epistemology” de 1974, hace un recuento de los intentos que se hicieron en el siglo XIX y la primera mitad del siglo XX por utilizar el patrón darwiniano

de explicación en diversas disciplinas científicas. En ese artículo, Campbell propone una caracterización general de los principios de la teoría de la evolución con miras a la justificación de su aplicación a diferentes tipos de procesos. Como parte de ello, Campbell resumió la teoría de la evolución en su famosa frase “variación ciega y retención selectiva”. Según este autor, para que podamos hablar de un proceso evolucionista en el sentido de Darwin, es necesario que las variaciones se den independientemente de las posibles adaptaciones (*i.e.* que las variaciones se generen sin tomar en cuenta el problema para el que pueden ser solución) y que la selección se efectúe sobre variantes heredables. La primera condición es lo que Campbell llama “variación ciega”. La segunda condición establece que la retención de los caracteres por individuos de la población es selectiva en la medida en que tienden a heredarse aquellos que son más adecuados para la sobrevivencia de la especie. Estos principios, sin embargo, se prestan a una serie de interpretaciones que han dado lugar a muchas polémicas (a las que nos referiremos brevemente más adelante).³

Otro intento por capturar las condiciones generales que caracterizan un proceso seleccionista son las famosas condiciones de Lewontin (1970). Según Lewontin, las condiciones que debe cumplir un proceso de evolución por selección son:

1. Variación: esto es, que los distintos individuos de una población tengan diferentes estructuras, funciones y comportamientos.
2. Adecuación diferencial: que distintos variantes tengan diferentes tasas de sobrevivencia y reproducción en diferentes ambientes.

³ En la antología de Martínez y Olivé (en prensa) se incluyen varios de los principales trabajos escritos alrededor de esa polémica.

3. Adecuación heredable: que exista una correlación entre padres e hijos en la contribución a la siguiente generación.

Las condiciones de Lewontin intentan capturar las características distintivas de la evolución como un proceso causal, y en esa medida su objetivo es muy similar al de Campbell. La formulación de Lewontin, sin embargo, depende más explícitamente de la estructura conceptual de la teoría de la evolución orgánica. No queda claro, por ejemplo, cómo los conceptos de población, adecuación y generación (la distinción entre padres e hijos) podrían utilizarse para describir procesos no biológicos. En los años siguientes se publicaron diferentes intentos por encontrar un punto medio entre la formulación general de Campbell y la formulación biológica de Lewontin. Lo que se requiere es caracterizar un proceso seleccionista de manera que sea lo suficientemente general, pero no tan general como para que cualquier proceso, o casi cualquiera, pueda modelarse como tal.

En su libro *Science as a Process*, publicado en 1988, David Hull sugiere que la caracterización general de un proceso seleccionista requiere que se apele a los dos tipos de procesos causales implícitos en un proceso seleccionista. La caracterización de estos procesos causales se da en términos de los entes funcionales que son pertinentes para que un proceso de selección constituya un proceso evolucionista. Estos entes funcionales son de dos tipos: (i) replicadores e (ii) interactores. Un replicador es un ente que transmite su estructura casi intacta en repeticiones sucesivas, mientras que un interactor es un ente que interactúa como un todo con su medio ambiente de manera tal que esa interacción provoca que la replicación sea diferencial.

Hull define un proceso selectivo como aquel en que la extinción diferencial y la proliferación de interactores causa la perpetuación diferencial de los replicadores pertinentes,

y al resultado de replications sucesivas lo llama “linaje”. Ahora bien, para Hull, la variación no tiene por qué ser ciega, todo lo necesario es que haya replicadores.⁴ Nótese también que Hull no da por hecho una caracterización fija de los interactores y replicadores, ni que exista un solo tipo de replicadores o interactores en un proceso evolucionista. Un replicador puede ser un gene, un organismo, una población, un sistema de desarrollo o un ciclo de vida, por ejemplo. Y si bien los interactores más comunes en la biología son los organismos, también los genes, las células o las poblaciones (en ciertas circunstancias y en ciertos procesos evolucionistas) pueden desempeñar el papel de interactores. Es más, es posible que un mismo tipo de ente sea replicador e interactor a la vez. Por ejemplo, en el sistema inmune ciertos linajes de células funcionan al mismo tiempo como replicadores e interactores, y lo mismo ocurre con las técnicas experimentales en nuestro modelo.⁵

⁴ Ésta es una característica muy importante de la teoría general seleccionista de Hull. Una objeción muy común al uso de modelos evolucionistas en epistemología consiste en señalar que en epistemología la *intencionalidad* de los actores desempeña un papel central en la construcción del conocimiento. La objeción es válida si la intención es la construcción de teorías. Hull sugiere que la intención no es sólo la construcción de teorías sino el avance en su profesión, la credibilidad y el reconocimiento de colegas, por ejemplo, y que este tipo de factores son los que deben considerarse en un modelo seleccionista. Nosotros creemos que, por lo menos en el proceso de la construcción y estabilización de técnicas y fenómenos, las restricciones materiales del proceso son aspectos que deben entrar en su caracterización como proceso causal. Por supuesto, la intención de los científicos se traduce en la elección de variantes técnicas, pero esa intención debe verse como un aspecto del proceso, y no como el “motor” del mismo. Esto es, las intenciones del científico deben verse más bien como parte del medio ambiente en el contexto en el cual tiene lugar la selección de variantes.

⁵ Una versión del modelo que aquí presentamos fue elaborada en Martínez (1995a). Ahí se hace ver cómo este modelo permite responder a una serie de objeciones repetidas a los modelos evolutivos del conocimiento científico. Una de las objeciones más serias que se hacen a los

Ahora bien, para esclarecer estas ideas y dejar ver su pertinencia para el caso de la evolución de técnicas es necesario que introduzcamos otros conceptos. En primer lugar es necesario introducir la distinción entre técnica y fenómeno concreto [*o token*] y técnica o fenómeno como población o tipo. En una primera aproximación podemos pensar en los primeros como una instanciación, en un tiempo y lugar dados, de los segundos. Así, cada vez que se aplica una técnica concreta, se reproduce un fenómeno tipo. Sin embargo, esta caracterización de la distinción no es aceptable del todo pues sugiere que un tipo de fenómeno es una mera colección (extensionalmente caracterizable) de instancias que comparten ciertas propiedades, y que esas propiedades de los fenómenos concretos son independientes de la manera como se constituyen en tipos. En Martínez 1995 y 1995a se elabora una manera de formular esta distinción entre fenómenos y técnicas concretas y fenómenos y técnicas tipo que evita este problema. Aquí sólo resumiremos la idea básica.

Los fenómenos tipo caracterizan una población de fenómenos concretos que constituyen un linaje.⁶ Los fenómenos

modelos evolucionistas del conocimiento ha consistido en hacer notar que en ellos no es posible formular un concepto claro y causalmente operativo de "adecuación". Bradie (1986), por ejemplo, ha hecho ver que el concepto de verdad no puede desempeñar ese papel en modelos evolucionistas del conocimiento teórico-proposicional. En el modelo que aquí se propone, como veremos, es posible formular un concepto claro y causalmente operativo de adecuación. Como en el caso de la selección orgánica, la adecuación mide la capacidad de reproducción de una técnica. Véase también la nota anterior.

⁶ La reproducción de una técnica o fenómeno no debe verse meramente como la reproducción de un suceso, sino como la reproducción de un entorno material y conceptual. La reproducción diferencial de estos entornos materiales asociados con un fenómeno concreto genera poblaciones de fenómenos concretos con un mismo *linaje*. Un linaje es una población históricamente constituida que permanece relativamente inalterada gracias a la reproducción de los individuos que la constitu-

tipo no son meras colecciones de instancias de fenómenos con propiedades que existen independientemente de la manera y los fines para los que se construyen los fenómenos. La generalidad de los fenómenos-tipo que se captura en fenómenos-conceptos tiene capacidad predictiva y explicativa porque es el resultado histórico de un proceso que selecciona fenómenos-tipo con esas características. La generalidad a la que se refiere un fenómeno-tipo no es el resultado de la existencia de clases naturales, sino el producto de un proceso mediante el cual se articulan restricciones materiales en regularidades reproducibles y estables, las cuales a su vez pueden utilizarse para la construcción de nuevas técnicas y fenómenos.

Un fenómeno concreto, en cambio, es un proceso causal material con condiciones de producción que son especificables localmente a partir de ciertos recursos materiales y conceptuales que en un inicio son difícilmente obtenibles y pueden estar restringidos a un único laboratorio, pero que *en el proceso de estabilización* se convierten en recursos accesibles (disponibles) para muchos otros laboratorios. Esta accesibilidad o disponibilidad de recursos es una condición *sine-qua-non* para el eventual atrincheramiento de los fenómenos. De esta manera, la distinción entre fenómeno concreto y fenómeno-concepto o tipo no asume la presuposición newtoniana, *i.e.* la existencia de una distinción ontológicamente significativa entre leyes (que apoyan generalizaciones) y condiciones iniciales (que representan aspectos contingentes del mundo sin capacidad de apoyar generalizaciones), sino que articula la distinción en términos de las condiciones (material y socialmente) estabilizadas

yen. Al hablar de “linajes” de fenómenos queremos enfatizar el hecho de que un fenómeno no existe aisladamente, sino como parte de una red compleja de dependencias funcional e históricamente constituidas. Este sentido de historicidad es el mismo que se atribuye, en la biología contemporánea, a una especie biológica.

que permiten explicar la generación de fenómenos concretos como el producto de la propagación de restricciones materiales. Así, la distinción entre fenómenos concretos y fenómenos tipo no se basa en una metafísica de leyes, ni en una metafísica de clases naturales, sino en la práctica social que permite y fomenta la propagación de las condiciones de generación de fenómenos concretos.

Un linaje de fenómenos (véase la nota 7) requiere de la reproducción de los fenómenos que lo forman a través de la incorporación de otros fenómenos. Esto ocurre mediante un proceso llamado *atrincheramiento*, que tiene una particular importancia en la evolución de técnicas. *Un fenómeno está atrincherado en la medida en que forma parte y contribuye a la creación y estabilización de otros fenómenos.* En nuestro caso, nos concentraremos en el tipo de atrincheramiento que ocurre cuando una técnica o un fenómeno se incorpora como parte de otra técnica cuya función es construir otro(s) fenómeno(s). Está claro que una cierta estabilización, producto de las series de experimentos que realizan los científicos, es un requisito para el atrincheramiento de un fenómeno. Pero nótese que se trata de un proceso de “ida y vuelta”, pues el atrincheramiento contribuye, a su vez, a la estabilización del fenómeno inicial.⁷ A este tipo de atrincheramiento lo podemos llamar *atrincheramiento histórico*, y es el más importante en el modelo evolucionista de técnicas experimentales que pre-

⁷ De ahora en adelante vamos a utilizar el concepto de fenómeno y técnica de manera ambigua, a veces lo utilizaremos para referirnos a fenómenos y técnicas concretas y a veces para referirnos a fenómenos y técnicas tipo. Cuando la ambigüedad pueda generar dificultades la evitaremos. Es importante recalcar que la estabilización y el atrincheramiento de fenómenos en sentido estricto tiene lugar con fenómenos tipo, y sólo derivativamente se puede hablar de atrincheramiento de fenómenos concretos (como instanciaciones materiales de fenómenos-conceptos).

sentamos aquí.⁸ La noción de atrincheramiento hace ver que la construcción de fenómenos y la evolución técnica son dos caras de una misma moneda: la construcción de conocimiento experimental.

Llegado este punto podemos tratar de identificar los interactores y los replicadores principales del proceso específico que estamos modelando. Hay por lo menos dos opciones: (i) Las técnicas experimentales concretas pueden verse como los interactores, cuya extinción diferencial y proliferación causa la perpetuación diferencial de fenómenos concretos. Los fenómenos concretos serían, en este caso, los replicadores, y su adecuación es una medida del éxito para lograr la construcción de réplicas y, por lo tanto, de su proliferación. Capturamos las poblaciones de réplicas conceptualmente en fenómenos-concepto. (ii) Podemos ver también a las poblaciones de técnicas (las técnicas-concepto) como interactores cuya extinción diferencial y proliferación causa la reproducción diferencial de las diferentes (sub)técnicas concretas, las cuales serían en este caso los replicadores.

La respuesta que queremos dar en este trabajo al problema del ajuste es compatible con esas dos interpretaciones de los aspectos causales principales de proceso. Esto se debe en parte a que la distinción entre técnicas y fenómenos que hemos introducido es hasta cierto punto convencional. Llamamos fenómeno al resultado estable de un proceso técnico, pero este resultado estable es muchas veces lo que comúnmente llamamos una técnica. Esta distinción flexible

⁸ Este tipo de atrincheramiento, sin embargo, no es el único. Otro tipo de atrincheramiento de fenómenos (o leyes fenoménicas) es el *atrincheramiento teórico*, que es importante en las tradiciones teóricas. Un fenómeno o Ley fenoménica está atrincherada teóricamente si es derivable en varios modelos diferentes que son representaciones aceptables de los fenómenos en un tiempo dado (Wimsatt 1981). El atrincheramiento histórico y el teórico tienden a reforzarse mutuamente. Volveremos a este problema en la sección 7.

es importante para poder modelar tradiciones experimentales como las de la psicología, en donde el resultado de la estabilización y el atrincheramiento de una técnica es otra técnica y no algo que apropiadamente podría caracterizarse como un fenómeno. Sin embargo, la distinción entre fenómenos y técnicas refleja una diferencia más de fondo en las tradiciones experimentales de la física o la biología donde, por ejemplo, es importante distinguir entre el fenómeno fotoeléctrico o de la reasociación del ADN, de la tecnología que genera el fenómeno fotoeléctrico o la reasociación del ADN.

Si nuestra pretensión fuera que una tradición experimental sea un proceso caracterizable siempre por los mismos replicadores e interactores, parecería que nuestra caracterización de una tradición experimental es muy rígida y con poco poder explicativo. Pero nuestra propuesta no es que podamos identificar *los* interactores y replicadores de la evolución de técnicas y fenómenos de una vez y para siempre. Nuestra tesis es que la construcción y estabilización de técnicas y fenómenos es un proceso caracterizable causalmente como un proceso evolucionista en el que hay interactores y replicadores que surgen en el marco de procesos que involucran la propagación de restricciones materiales. Esta propagación de restricciones se efectúa por medio de la *selección de variantes de las partes que son funcionalmente distinguibles en las técnicas*. Como veremos, en el proceso de la construcción de técnicas es posible identificar mecanismos de *variabilidad* que permiten identificar interactores y replicadores en el contexto de un proceso causal seleccionista.

Esto es así porque en el caso de la evolución de técnicas experimentales tratamos, como bien señala Pickering, con “procedimientos materiales” cuya coherencia y estructura constituye una buena parte de lo que llamamos “naturaleza”. En este trabajo hemos desarrollado esta idea

haciendo ver que *el tipo de conocimiento que se produce en las tradiciones experimentales puede entenderse como un proceso de construcción y propagación de restricciones [constraints] materiales que se articulan conceptualmente*. Pero es importante tener en mente que las restricciones a las que nos referimos no deben verse como meros obstáculos pasivos que un agente, que puede ser la selección natural, tiene que vencer. De hecho, la propagación de esas restricciones constituye la estabilidad de los fenómenos. Pero antes de pasar a la naturaleza de la variabilidad y de las restricciones que operan en la evolución de las técnicas experimentales es necesario que aclaremos un último punto acerca de las características de nuestro modelo.

Las técnicas experimentales consisten por lo general en una serie de procedimientos. A esos procedimientos o partes de una técnica las llamaremos “subtécnicas” o “pasos”, los cuales, como en el caso de las partes de los organismos, se identifican a través de sus *funciones con valor adaptativo*. Esto es, las subtécnicas se consideran como “partes” en la medida en que cumplen una función cuya variación tiene efectos (adaptativos) en la reproducción de un fenómeno-tipo. Ahora bien, para resolver si una función es resultado de un proceso adaptativo, se requiere conocer la historia de las presiones selectivas que han actuado sobre esa función. Dicha reconstrucción sólo tiene sentido en el contexto de un problema adaptativo y depende de lo que sabemos o suponemos acerca de la historia de dicho proceso. Este hecho lo formularemos diciendo que *las explicaciones seleccionistas dependen del contexto*, lo cual quiere decir que una fuerza o presión de selección no existe de manera independiente al problema adaptativo con respecto al cual se caracteriza. Simultáneamente, una parte o función adaptativa se considera

como tal solamente con relación a un contexto de selección.

En la sección 5 ilustraremos y abundaremos en este carácter contextual de los procesos seleccionistas buscando resaltar sus implicaciones en el caso de la evolución de técnicas experimentales. Pero antes, es necesario que especifiquemos de qué manera las técnicas experimentales cumplen con las condiciones de un proceso seleccionista.

3. La estructura del atrincheramiento de las técnicas experimentales

Los procesos seleccionistas resultan en la reproducción diferencial de algunos de los individuos (organismos, técnicas o subtécnicas) de una población. Pero para que esa reproducción diferencial sea producto de un proceso seleccionista, tiene que haber variación en los individuos. Ésta es la primera condición necesaria de un proceso de evolución por selección natural. Esta condición no es suficiente, pues es necesario que la variación se relacione causalmente con las diferencias en la adecuación de diferentes individuos. Solamente de ese modo la variación será “visible” a la selección. Además, la variación debe ser replicable y transmitirse en la reproducción de los individuos de la población. Esta condición, la llamada “heredabilidad” de la variación, es necesaria para la propagación de las características adaptativas en la población.⁹ La estructura de las técnicas experimen-

⁹ La primera condición está implícita en la caracterización de Hull de lo que es un proceso evolucionista, y explícitamente es la primera de las condiciones de Lewontin. La segunda condición también está explícita en Lewontin e implícita en el requerimiento de Hull según el cual debe existir una relación causal entre la extinción diferencial y la proliferación de interactores y la perpetuación diferencial de los replicadores pertinentes. Por último, la tercera condición, también ex-

tales, su “descomponibilidad” en partes, permite un tipo de variación que cumple con estas condiciones.¹⁰ Veámos.

Una técnica tipo T está constituida de varias subtécnicas o pasos t_i que dependen entre sí de manera compleja; esta dependencia es una expresión de la subordinación de las funciones propias de las diferentes subtécnicas-pasos t_i al objetivo de T . A este objetivo de T lo caracterizaremos por una función que llamamos F ,¹¹ y que consiste en la construcción de un cierto tipo de fenómeno. La dependencia entre subtécnicas (t_i) puede entenderse de muchas maneras, pero para la discusión presente basta con que la entendamos en términos de las condiciones suficientes para la aplicabilidad de una subtécnica. Así, que t_i sea dependiente de t_j quiere decir que la aplicación de t_i requiere, en el contexto de una técnica T cuya función F es generar un cierto fenómeno, la aplicación previa de t_j . Esto

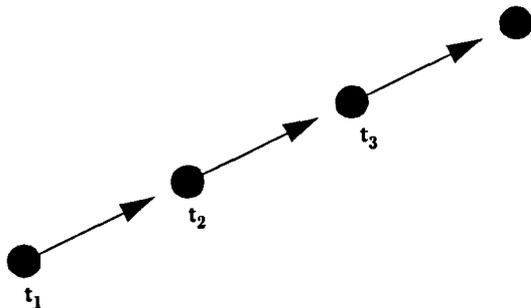
plícita en Lewontin, se encuentra implícita en el concepto de “linajes” (de replicadores) de Hull.

¹⁰ No todos los procesos de “cambio” o evolución cumplen estas condiciones, por lo que no todos constituyen ni pueden modelarse como procesos seleccionistas. El hecho de que el proceso de evolución de técnicas cumpla objetivamente con estas condiciones es algo que distingue a nuestro modelo de una mera metáfora darwinista, como señalamos al inicio de este trabajo. En Martínez (1995a) se elabora con mayor detalle esta idea, haciendo ver que el tipo de variabilidad de las teorías y conceptos no cumple con estas condiciones y, por tanto, el proceso de cambio de teorías no es ni puede modelarse (más que metafóricamente) como un proceso seleccionista. En ésta y la siguiente sección damos una explicación de por qué las técnicas experimentales sí pueden sufrir el tipo de variaciones requeridas para que pueda modelarse el proceso como un proceso seleccionista.

¹¹ Una subtécnica t_1 es considerada como un paso de T en relación con una función F , pero con respecto a otra función G , puede ser una técnica T' . Usaremos, en ocasiones, indistintamente las palabras “técnica” y “subtécnica”, lo cual indica que no hay nada intrínseco a su estructura que las delimite como unas y otras, sino que adquieren ese carácter en un contexto funcional.

es, t_j se aplica en un dominio que resulta de la aplicación de t_i .

El ejemplo más sencillo de dependencia de técnicas es el de una cadena, esto es, de una serie de subtécnicas cuya aplicación requiere de la aplicación antecedente de otras. Este caso puede representarse en un diagrama como sigue:

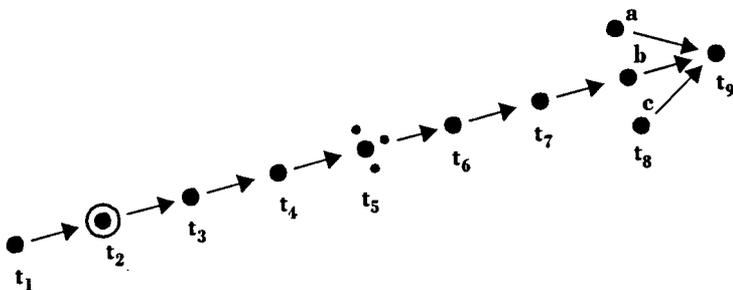


(Fig. 1) El diagrama describe una serie de pasos (técnicas) t_i tal que una técnica a la derecha depende (para su aplicación en el contexto de alguna técnica T del cual son subtécnicas) de todas las otras técnicas a la izquierda.

El diagrama describe algunas de las dependencias (importantes en un problema específico) con respecto a un cierto fin (que siempre se entiende como la construcción y estabilización de algún fenómeno-tipo específico). Cada nodo representa un paso de la técnica. Cada paso (subtécnica) es una técnica por sí misma, esto es, una técnica que en cierto momento (en relación con cierta función) podemos considerar unitaria y simple. Esto es así porque cada una de las subtécnicas atrinchera uno o varios fenómenos (f) cuya

reproducción se subordina, en el contexto de la técnica T , a la reproducción de la función F , que es la construcción del tipo de fenómeno que en ese contexto experimental define la función de T .

Como veremos adelante, el atrincheramiento de diferentes tipos de fenómenos en un mismo tipo de técnica es lo que explica la variabilidad de éstas. De hecho, el diagrama de la figura 1 es sólo el caso más simple de dependencia de técnicas, y no muestra la variabilidad que es típica del proceso de evolución de técnicas en las tradiciones experimentales. Pero los diagramas de dependencia pueden generalizarse para representar la estructura y la variabilidad de diferentes tipos de técnicas. En la figura 2 presentamos un diagrama que representa algunas de las dependencias importantes en el contexto de las técnicas de hibridación de ácidos nucleicos; con él introducimos el ejemplo que nos guiará en la presentación de nuestro modelo.



(Fig. 2) Diagrama de dependencia de las técnicas de hibridación que muestra tres tipos o fuentes de variabilidad agregativa.

Como se ve en el diagrama, las técnicas de hibridación de ácidos nucleicos consisten en un conjunto de nueve pasos o subtécnicas representados por cada uno de los nodos.

Dichas técnicas constituyen en realidad una población de técnicas que proliferaron, a partir de la década de los sesenta, en las tradiciones experimentales de la genética molecular y de la naciente Evolución Molecular.¹² Un ejemplo de técnica concreta que forma parte de esa población es la de hibridación en ADN-agar de ácidos nucleicos, utilizada por el grupo de Ellis T. Bolton y Roy Britten en el Laboratorio de Biofísica de la Institución Carnegie de Washington.¹³ Esa técnica resultaba muy adecuada para reproducir un tipo de fenómeno particularmente interesante desde el punto de vista de la evolución biológica: la hibridación de ADNs provenientes de diferentes especies con el objeto de cuantificar el grado de homología genética (o similitud) entre esas especies. En la actualidad, las técnicas de hibridación constituyen subtécnicas de otras técnicas como las de secuenciación de ácidos nucleicos a las que no nos vamos a referir en este trabajo. Podemos señalar, sin embargo, que esas técnicas han sido enormemente exitosas en la biología molecular a partir de la década de los ochenta.¹⁴

¹² Este ejemplo, y en particular la clasificación de las técnicas de hibridación que utilizamos, es parte de un estudio más amplio de las diferentes tradiciones científicas, y en particular de las tradiciones experimentales, que participaron en la formación y consolidación de la disciplina de la Evolución Molecular a partir de los años sesenta (Suárez 1996).

¹³ El contexto en el cual reconstruimos la evolución de una técnica puede requerir que caractericemos una técnica concreta de manera más específica. Podríamos referirnos por “técnica concreta”, por ejemplo, a la variante técnica que llevaron a cabo los miembros del grupo de Washington en un día y hora específicos y que reprodujo un fenómeno concreto con ciertas características. La distinción es funcional y no hay manera “natural” de distinguir entre técnica tipo y técnica concreta.

¹⁴ Nótese que las técnicas, una vez atrincheradas en tradiciones experimentales exitosas, difícilmente desaparecen o se “extinguen”. Las técnicas que en un momento dado cumplieron una cierta función en la construcción de un fenómeno, se convierten en partes de otras técnicas más complejas cuya finalidad es la construcción de otros fenómenos.

Ahora bien, la función F de las técnicas de hibridación consiste en efectuar la reasociación de dos moléculas previamente “desnaturalizadas” o separadas de ácidos nucleicos, formando moléculas *híbridas*. Estas moléculas híbridas pueden ser del tipo ARN: ADN, en cuyo caso la hibridación consiste en la reasociación de moléculas de diferente tipo, o ADN: ADN*, en cuyo caso se tienen dos moléculas de ADN provenientes de la misma o diferente especie biológica. El *fenómeno* que se reproduce, esto es, la función F de T (si pensamos en fenómenos-tipo), o el fenómeno concreto que resulta de la instanciación de F ($insF$), es la reasociación por complementariedad de las bases nucleotídicas de las dos cadenas de ácidos nucleicos.¹⁵

Para cumplir esa función, las técnicas de hibridación de ácidos nucleicos incluyen por lo general los siguientes pasos o subtécnicas: (t_1) marcaje radioactivo del ADN o ARN que se quiere hibridizar; (t_2) purificación del ADN (y ARN, en ocasiones); (t_3) disociación del ADN en dos cadenas simples; (t_4) fragmentación; (t_5) inmovilización; (t_6) reasociación; (t_7) separación de las cadenas sencillas y las moléculas reasociadas; (t_8) medición de la reacción de reasociación; (t_9) medición de la tasa de reasociación (véase la figura 2). Es esta *estructura* de las técnicas de hibridación,

El comportamiento de una técnica, en este caso, es similar al de un gene una vez que aparece en la población: La probabilidad de que se extinga es muy baja. Este hecho da cuenta de una característica histórica señalada por Hacking (1983, 1992): el carácter estable de los fenómenos en las tradiciones experimentales.

¹⁵ El mecanismo del apareamiento por complementariedad entre las bases nucleotídicas de las dos cadenas del ADN es la característica estructural más importante del ADN (ácido desoxirribonucleico). Consiste en la formación de enlaces o puentes de hidrógeno entre la adenina y la timina (A:T), y entre la citosina y la guanina (C:G). La especificidad de estos enlaces explica que una de las dos cadenas pueda actuar como molde o “templado” en la síntesis de la cadena complementaria; asimismo, explica el hecho de que, en condiciones experimentales adecuadas, dos cadenas con secuencias complementarias se reasocien.

su constitución como un conjunto de procedimientos materiales (t_1 a t_9) con diferentes funciones (f_i) subordinadas a una función (F), que es la reasociación de dos cadenas de ácidos nucleicos, la que hace posible la variabilidad necesaria para que evolucionen mediante un mecanismo selectivo.

4. Las fuentes de variabilidad técnica: el ejemplo de las técnicas de hibridación

El diagrama de la figura 2 representa no sólo el orden más común de dependencia en las técnicas de hibridación, sino algunos tipos o fuentes de variación del conjunto de subtécnicas t_i de T . La primera es una fuente de variabilidad material. Este primer tipo de variabilidad se ilustra en el diagrama con los círculos pequeños que se localizan en la subtécnica t_5 . En este caso, las técnicas pueden ser las mismas desde el punto de vista de la función F de T , pero pueden variar en la manera como están materialmente constituidas. Por ejemplo, el material que se puede utilizar en la subtécnica t_5 cuya función (f_5) es inmovilizar al ADN puede ser celulosa, agar o filtros de nitrocelulosa.

En caso de que se intercambien dos subtécnicas o pasos de la misma técnica (T), esto es, que su orden se invierta, tendríamos una segunda fuente de variabilidad. Un ejemplo de esta fuente de variación en las técnicas de hibridación ocurriría si en lugar de marcar radiactivamente los ácidos nucleicos (paso t_1) antes de purificarlos (t_2), se invirtiera el orden de los procedimientos. El ADN podría marcarse después de ser purificado y de hecho esto es posible. Pero ello tiene efectos negativos en la adecuación de la técnica, pues el marcaje radiactivo se realiza con mayor eficiencia en las células vivas, a las cuales se les cultiva en un medio ambiente que contiene los isótopos con que se desea “marcar” y que ellas absorben e incorporan en su metabolismo.

Una tercera fuente posible de variación consiste en la multiplicidad de técnicas que pueden utilizarse en un nodo determinado. Éste es el caso en que es posible, en uno de los pasos de T , la utilización de diferentes técnicas que llevan a cabo su función por medio de procesos materialmente distintos apelando a diferentes tipos de restricciones materiales.¹⁶ Este tipo de variabilidad se representa en el diagrama por medio de una serie de técnicas que definen dominios alternativos para una técnica que depende de ellas. En el diagrama, las técnicas a , b y c del paso t_8 , la medición de la reacción de reasociación, son posibles variantes en este sentido. Es decir, con respecto a la función F que consiste en medir la proporción de hibridación entre dos moléculas, existe un paso t_8 que puede llevarse a cabo utilizando diferentes procedimientos. Por ejemplo, la reacción puede medirse: a) midiendo la absorción de rayos ultravioleta (de 260 nm de longitud de onda) de la muestra; b) midiendo la proporción de moléculas híbridas que quedan atrapadas en una columna de hidroxapatita; o c) graficando el cambio de temperatura requerido para disociar diferentes muestras de ácidos hibridizados obtenidas en diferentes momentos de la reacción.

Existe la posibilidad de que en este tipo de variabilidad ocurra la substitución de módulos completos de subtécnicas. Estos módulos por lo general provienen de otras poblaciones de técnicas, esto es, de otras tradiciones experimentales en las que han evolucionado para la consecución de un cierto fin que, en cierto momento, puede ser útil en otra tradición experimental. En ese caso, el módulo completo se “importa”, y muy posiblemente la técnica T como un todo se modifica para incorporar el módulo importado,

¹⁶ En este caso las subtécnicas que se pueden utilizar alternativamente en ese nodo, si bien son equivalentes con respecto a F , no tienen por qué serlo con respecto a otra función de alguna otra técnica diferente de T .

el cual también se adapta para cumplir su función en el nuevo contexto. Éste es por ejemplo el caso de t_2 , que si bien representamos como un solo paso en nuestro diagrama, en realidad consiste en un conjunto de procedimientos desarrollados en la bioquímica del siglo XIX. La tradición experimental en la que Friedrich Miescher (1844–1895) desarrolló, en 1867, las primeras técnicas de purificación de ácidos nucleicos, promovía la purificación y caracterización de los componentes macromoleculares de los seres vivos. La técnica de Miescher, que consiste en un conjunto de procedimientos comúnmente conocidos como “precipitación con sodio”, constituye aún el núcleo de las técnicas de purificación de ADN. En la actualidad dichas técnicas son probablemente las más atrincheradas históricamente en el campo de la biología molecular.

Es posible que en estos casos uno o varios grupos de investigación hayan pensado que una cierta técnica-módulo podría ser útil para un fin diferente de aquel para el cual fue desarrollada originalmente. Quizás sólo uno de esos grupos encuentre la manera más eficiente de adaptar esa técnica a la nueva función y, por lo tanto, esta variante tendrá una mayor adecuación en la población de técnicas que se están sometiendo a la selección en el contexto de dicha tradición. En el diagrama de la figura 2 se representa este tipo de variabilidad por medio de un círculo que se hace alrededor del módulo t_2 , la purificación de ácidos nucleicos.

Un cuarto tipo de variabilidad consiste en la alteración del número de procedimientos que se pueden efectuar. Los pasos t_1 , t_4 , t_5 y t_9 pueden no llevarse a cabo, y esta variación depende del contexto de la realización de otros pasos o subtécnicas, y de la función de T en un experimento dado (véase la figura 2). Por ejemplo, si la medición de la reasociación (t_8) se va a llevar a cabo graficando los cambios en la temperatura de disociación, entonces la subtécnica t_1 (marcaje radiactivo) puede no realizarse. De hecho, de

realizarse esta variación, la adecuación (eficiencia) de la técnica aumentaría, pues disminuiría el tiempo y costo de la reproducción del fenómeno (ins F , que es la reacción de reasociación). La eliminación de t_1 sería letal, en cambio, si el procedimiento de medición (t_8) se realizara contando la radiactividad presente. En ese caso, la función F de T no se llevaría a cabo, y la técnica no construiría ningún fenómeno.

La inmovilización del ADN de cadena sencilla que se quiere hibridar (paso t_5) constituye uno de los focos más importantes de variación de las técnicas de hibridación.¹⁷ Puede no llevarse a cabo cuando se realiza hibridación de ADN de organismos procariontes (bacterias). En ese caso, la concentración y el volumen de ADN son tan pequeños, que la reacción ocurre eficientemente en solución. Pero con el ADN de células eucariontes (células de plantas, animales, hongos y protoctistas), la adecuación de la técnica aumenta considerablemente al inmovilizar el ADN. Para eso, se utilizan diferentes materiales, como agar, celulosa o filtros de nitrocelulosa. Éste es el ejemplo que expusimos al hablar del primer tipo de variabilidad.

El paso t_4 , la fragmentación, también puede no realizarse dependiendo de la función F de T . Cuando la F de T es la hibridación de ADN procarionte, la adecuación de la técnica no disminuye notablemente si no se efectúa la fragmentación. En cambio, la fragmentación es un paso completamente necesario si se trabaja con ADN eucarionte; de no efectuarse t_4 en ese caso, la técnica perdería por completo su adecuación, pues no permitiría la construcción del

¹⁷ De hecho de la introducción de este procedimiento, y de la adopción del agar como sustancia inmovilizadora del ADN dependió, en gran parte, el éxito de los sistemas experimentales de la tradición a la que nos hemos referido (el grupo de Biofísica de Washington).

fenómeno de reasociación. Esto se debe a la complejidad y al tamaño del genoma eucarionte; las secuencias complementarias solamente pueden reaccionar entre sí cuando han sido cortadas en pequeños trozos que contienen fragmentos complementarios. Así pues, en el contexto de la función F que es la reasociación del ADN eucarionte, la ausencia de fragmentación (t_4) resulta letal.

El paso t_6 es distinto y especial, pues reproduce el fenómeno que define la función F de T : la reasociación de ácidos nucleicos. Por tanto, es un paso indispensable si lo que se busca es llevar a cabo una técnica de hibridación. Si no se efectúa t_6 , la técnica jamás reproducirá el fenómeno de la reasociación. Para que ocurra, se requiere enfriar lentamente la solución en la que se encuentran los ácidos nucleicos de cadena simple que se desea hibridar. La ausencia de este procedimiento, por tanto, es siempre letal para la técnica. El científico no puede “optar” por eliminarlo. Lo único que puede variar son las condiciones experimentales en que se puede llevar a cabo, tales como el pH o la velocidad del cambio de temperatura. Estas condiciones experimentales también incluyen la dependencia de t_6 con respecto a las variantes de las demás técnicas.

Los mecanismos de variación a los que nos hemos referido provienen de los diferentes sentidos y grados de libertad en los que las variantes de una técnica son *agregativas*. *Decimos que una técnica T , cuya función F es la construcción y estabilización de un fenómeno dado, es agregativa respecto a cierta descomposición en partes inducida por F si, o en la medida en que, las partes (pasos o subtécnicas) puedan ser sustituidas por otras cuyo origen y composición material pueda ser muy diferente, pero cuya función sea equivalente a la que sustituye, con relación a la función F de T .* Esta noción de agregatividad se refiere en realidad a una familia de tipos de agregatividad, algunos de los cuales

ejemplificamos con nuestros cuatro tipos de variación. Esta lista, sin embargo, no es exhaustiva.¹⁸

Cada uno de los diferentes sentidos en los que una técnica es agregativa con respecto a sus partes, con relación a la construcción de un fenómeno, es *una fuente de variabilidad*. ¿Cuál es la razón por la que solamente las “variantes agregativas” cuentan como fuentes de variabilidad de la técnica? La agregatividad de una variante técnica indica su *independencia* con respecto a la organización de sus partes, esto es, aquello que se presenta como una “parte independiente” (o sea, una función) que está sujeta a la acción de la selección.¹⁹

Ahora bien, no existe un nivel último de agregatividad. Esto quiere decir que no existe una “unidad” fundamental de variación y de selección técnica. Los procedimientos de una técnica que pueden variar y ser seleccionados se delimitan en el contexto de un problema específico. Los diferentes sentidos de agregatividad, en última instancia, tienen una caracterización funcional. Una técnica se descompone en subtécnicas de diferentes maneras, pues la descomposición es relativa a la función. El análisis de la agregatividad de las técnicas experimentales que introdujimos aquí como

¹⁸ Para una caracterización bastante detallada de diferentes tipos de agregatividad, véase Wimsatt (1986). En ese trabajo, Wimsatt caracteriza la agregatividad indirectamente, por medio de la caracterización de las maneras en que ésta falla.

¹⁹ El teorema fundamental de la selección natural propuesto en 1930 por Fisher tiene, entre otras consecuencias, la de que debe haber variación en la adecuación (debida a una alteración en una función), para que pueda haber un cambio evolutivo debido a la selección. Es importante recalcar que una manera análoga de entender causalmente la evolución de ideas o teorías no es posible. No hay manera de individualizar ideas o teorías de manera tal que pueda recurrirse a la agregatividad para articular un concepto suficientemente preciso de variación y de adecuación. En el caso de las técnicas experimentales, nuestro modelo permite articular esta idea fundamental de la teoría de evolución recurriendo a su base material.

una modificación del análisis de Wimsatt (1986), requiere que enfoquemos nuestra atención en las propiedades de sistemas materiales, en la medida en que éstas inciden en las funciones que desempeñan esos sistemas en el proceso de estabilización de un fenómeno.

5. *La confección y adecuación de técnicas y fenómenos*

Ya hemos señalado que el objetivo epistémico central de las tradiciones experimentales es la construcción y estabilización de fenómenos, y que de este objetivo se sigue un criterio claro de selección de técnicas experimentales. Aquellas técnicas que promueven la estabilización del tipo de fenómenos alrededor de los cuales se articulan los fines de la tradición, son las que tienden a ser seleccionadas. En nuestro modelo es relativamente fácil caracterizar el concepto pertinente de *adecuación*. Exactamente en analogía con el caso biológico, *una técnica contribuye a la sobrevivencia de su linaje en la medida en que es más exitosa en reproducirse, y eventualmente en atrincherarse, a través de la construcción y estabilización de nuevos fenómenos*. La estabilización exitosa de un fenómeno, por lo menos en parte, tiene lugar fuera de la tradición experimental y depende de factores socioeconómicos tales como costo, productividad y mercado. Estos factores rara vez desempeñan un papel, por lo menos directamente, en las primeras etapas de la construcción y la estabilización de un fenómeno, sin embargo, inciden en la adecuación de la tradición.²⁰

²⁰ Esto sugiere una manera en la que es posible distinguir entre lo que son las “técnicas experimentales” y lo que es la “tecnología”. Nos hemos referido al papel de las primeras en la construcción y estabilización de fenómenos (que a su vez se pueden incorporar en otras técnicas), es decir, en la *producción de un tipo de conocimiento científico*. Sólo en este contexto adquiere una importancia central la *variabilidad* de las técnicas. Los fenómenos que ayudan a reproducir una técnica se reincorporan a las prácticas de una tradición experimental. En cambio,

La selección de técnicas es un proceso contextual en un sentido totalmente análogo al de la evolución orgánica. Por ejemplo, una técnica de medición de la cantidad de ADN híbrido (t_8) basada en el cambio en la temperatura de disociación, puede ser suficientemente precisa para ciertos fines, pero no para otros. Si se diera el caso de que los miembros de una tradición experimental desearan —o requirieran— adaptar la técnica para un nuevo contexto en el cual la precisión de la misma no fuera suficiente, podrían buscar y probar entre las técnicas de medición o entre los fenómenos de esa u otra tradición hasta encontrar una variante que aumentara la precisión de la medición. En este caso, la técnica será agregativa con respecto a la sub-técnica que puede variar en ese sentido. La selección de la técnica, en cambio, dependerá de qué tanto se incrementa la adecuación de la misma al adoptar dicha variante. Es decir, depende de las restricciones [*constraints*] del contexto material-práctico en que se construye el fenómeno en cuestión.

Así pues, la adecuación de una técnica depende de las necesidades o presiones sociales que inciden en los procesos de construcción de fenómenos. Depende también de las características de los materiales utilizados, de sus propiedades y de la manera como esas propiedades son pertinentes en el proceso de construcción de fenómenos. Un contexto, entendido como el conjunto total de las restricciones materiales-sociales [*constraints*] que afectan un proceso de

podemos llamar *tecnología* (o *artefactos tecnológicos*), a las técnicas (y fenómenos) lo suficientemente estabilizados como para “salir” de la investigación científica, hacia la esfera del consumo o la producción de bienes, en donde serán seleccionadas de acuerdo con criterios como productividad y costo. En la tecnología, la variabilidad no desempeña un papel causal explicativo pues su función generalmente consiste en la reproducción de un mismo tipo de fenómenos (efectos o productos).

construcción y estabilización de técnicas y fenómenos, es la situación cuya *historia* es relevante para la reconstrucción de las presiones de selección.

Por ejemplo, en los años sesenta, el procedimiento de inmovilización (t_5) se llevaba a cabo utilizando filtros de nitrocelulosa en las tradiciones de la Genética Molecular. En esos mismos años, se utilizaba agar para el mismo procedimiento en las tradiciones de la Evolución Molecular, y muy especialmente en el Grupo de Biofísica de la Carnegie Institution de Washington, al cual nos hemos referido. Las dos variantes eran adecuadas para reproducir el fenómeno de la hibridación, cada una en el contexto de diferentes tradiciones. La utilización de filtros de nitrocelulosa por los genetistas moleculares, y de agar por los evolucionistas moleculares se explica en un contexto complejo en el que actuaba más de una presión selectiva. Para reconstruir tal contexto requerimos hacer un poco de historia (véase Suárez 1996).

Dos miembros del grupo de Washington, E.T. Bolton y J. McCarthy, desarrollaron en 1962 la inmovilización del ADN en columnas de agar (Bolton y McCarthy 1962). Poco tiempo después, dos genetistas moleculares, A.P. Nygaard y B. Hall, desarrollaron la variante de los filtros de nitrocelulosa (Nygaard y Hall 1963). Pero la utilización de cada una de estas técnicas, es decir, la selección de una variante, no es un asunto de meras preferencias: al haber ideado la variante con agar, los evolucionistas moleculares eran más hábiles para manejar esa sustancia que los filtros de nitrocelulosa de sus colegas; y a la inversa, los genetistas moleculares estaban más familiarizados con la manipulación de los filtros. Más aún, en el contexto de los nuevos problemas que atrajeron la atención del grupo de Washington hacia 1963–1964, y que culminaron con el establecimiento del fe-

nómeno ADN-satélite (Britten y Kohne 1968),²¹ comenzó a adquirir importancia el problema de la cinética de la reacción de reasociación. Esta reacción se inhibía ligeramente al utilizar los filtros de nitrocelulosa, por lo que la adecuación de la técnica de hibridación disminuía. Esto explica, al menos parcialmente, la selección de la técnica de ADN-agar por los evolucionistas moleculares en esos años. Pero hay que notar que esta selección no fue “definitiva”: la técnica de ADN-agar fue sustituida por otras conforme los intereses del grupo se modificaron a raíz de la evolución de su contexto experimental. Es importante notar, pues, que los contextos material-sociales se modifican conforme ocurre la coevolución de técnicas y fenómenos y, por tanto, la adecuación de cada variante depende de un contexto práctico caracterizable social e históricamente.

Lo anterior deja ver en qué sentido las técnicas, al igual que los organismos, se estabilizan como parte de la construcción de *nichos* adaptativos. La selección de variantes técnicas ocurre en función de la reproducción de un tipo de fenómenos que promueve los fines específicos de la tradición en un momento dado. Estos fines, a su vez, se modifican como resultado de la propia evolución de las técnicas experimentales y de la construcción de nuevos fenómenos. Así, técnica y fenómenos se ajustan o confeccionan mutuamente: un tipo de técnicas produce un tipo de fenómenos, y la reproducibilidad de los fenómenos es un índice de la adecuación de las técnicas utilizadas. No existe algo así como un repentino evento de “creación” o de “diseño”. Pero tampoco existe algo así como un “fin”

²¹ El ADN-satélite es una fracción del material genético de las células eucariontes (hongos, animales, plantas y protoctistas) que consiste en millones de copias repetidas de secuencias cortas (unos 400 pares de nucleótidos en promedio). Véase Suárez (1996) para una reconstrucción histórica más detallada del establecimiento de este fenómeno por los miembros del grupo de Washington.

o “estrategia” predeterminados.²² El ajuste o adaptación entre técnicas y fenómenos es resultado de un proceso de variación y selección que genera el tipo de conocimiento que han señalado autores como Pickering o Hacking. Es más, la confección de una técnica o fenómeno tiene lugar en el contexto de toda una serie de procesos similares de construcción de otras técnicas y fenómenos que funcionan como restricciones dinámicas cuya adaptación mutua (co-evolución) contribuye a delinear el nicho de la técnica o fenómeno en cuestión. Al plantearse su uso en un contexto experimental diferente (es decir, el contexto de un problema que requiere de la construcción y estabilización de otro tipo de fenómeno), la técnica paulatinamente modifica las condiciones en que aparecen estos nuevos fenómenos, hasta que eventualmente puede llegar a establecerse un nuevo “nicho”. Estas condiciones son, al menos en parte, el contexto de otras técnicas con diferentes relaciones de dependencia.

Este proceso evolutivo conduce a la *diversidad* de las técnicas experimentales. Al utilizarse en diferentes contextos, las técnicas van forjando en el proceso de su construcción mutua nuevos nichos experimentales e incluso promueven la formación de nuevas tradiciones científicas. Muchas veces las técnicas que se han estabilizado para la reproducción de un tipo de fenómenos pueden ser utilizadas en otros *tipos de tradiciones científicas*.²³ En las tradiciones teóricas,

²² Al respecto véase Rheinberger (1995). Rheinberger documenta con un caso histórico (la construcción del fenómeno “ribosomas”) que la investigación experimental (lo que él llama la “ciencia en proceso” o “*science in the making*”) implica “estrategias” que no tienen un objetivo fijo.

²³ No es posible elaborar aquí una caracterización detallada de los diferentes tipos de tradiciones científicas. Para una caracterización de las tradiciones teóricas y descriptivistas véase Martínez (1993, 1995) y Suárez (1996) para el caso histórico de las tradiciones de la Evolución Molecular.

las técnicas experimentales cumplen varias funciones: generar datos que puedan servir para calcular las variables contenidas en los modelos de una tradición o en general ayudar en el proceso de la elección entre teorías alternativas. En cambio, en las tradiciones descriptivistas como las de la taxonomía biológica, las técnicas se utilizan para obtener evidencias acerca de las relaciones de semejanza entre dos especies. En todos estos nichos, las técnicas sufrirán un ajuste al nuevo contexto en que son utilizadas. Incluso es posible que ciertos entes que son interactores o replicadores principales en un proceso no lo sean en otro. Pero en todos los casos lo que es característico de las tradiciones experimentales es la propagación de restricciones materiales por medio de la construcción y el atrincheramiento de técnicas y fenómenos.

6. *Conclusión: la confección del mundo como el producto de la coevolución de técnicas y fenómenos*

El modelo que hemos presentado en este trabajo explica el desarrollo de técnicas y la construcción de fenómenos en las tradiciones experimentales como un proceso causal seleccionista. La relación entre fenómenos y técnicas, su sorprendente ajuste, es el resultado de un proceso de coevolución. Esto nos permite responder de manera directa a un aspecto importante del problema del ajuste al que se refieren Hacking y Pickering, entre otros. Nuestro modelo indica una manera diferente de ver la relación entre nuestro conocimiento del mundo y las prácticas y objetos con los cuales intervenimos en él.

El conocimiento que nos interesa en la ciencia es el conocimiento *de lo general*; en las tradiciones experimentales, ese conocimiento general se encuentra corporalizado en los distintos *tipos de fenómenos* (y no, como en las tradiciones teóricas, en términos de principios y leyes de

aplicación universal). Un fenómeno tipo, el objeto de nuestras generalizaciones (y por tanto de nuestros modelos), no debe verse como el producto de una observación pasiva del mundo, como el mero reconocimiento de semejanzas entre fenómenos concretos que existen independientemente de nuestra intervención. La clasificación en fenómenos tipo no es una cuestión de *ver* sino de *hacer*. La generalidad que se estructura en los fenómenos tipo es una generalidad que se captura en conceptos, pero que no preexiste a los conceptos construidos a partir de esos fenómenos. En este sentido, hablamos de una generalidad *corporalizada*. Esa generalidad es *construida* en el proceso de evolución material al que nos hemos referido y se expresa en nuestros modelos (conceptuales) de fenómenos. Así pues, la generalidad del conocimiento en las tradiciones experimentales se construye, podríamos decir “de abajo hacia arriba”, pues es el resultado de la coevolución de nuestras técnicas experimentales y de los fenómenos que construimos con ellas.

La generalidad sobre la que se construyen nuestras explicaciones y predicciones, la generalidad que tratan de capturar de manera simple y comunicable nuestros modelos de fenómenos, es en este sentido una confección. La materia prima de esa confección, como vimos, la constituyen las restricciones materiales a las que se enfrentan las tradiciones experimentales. Así pues, los fenómenos tipo, los linajes de fenómenos, son parte del mundo y al mismo tiempo son “confecciones” del mundo.

Los fenómenos concretos no son menos “confección”. No hay fenómenos concretos dados de una vez y para siempre a partir de los cuales generalizamos y llegamos a construir las clasificaciones (conceptos) de las cosas del mundo de las que habla la ciencia. La respuesta a qué es un fenómeno concreto siempre está en función de una cierta perspectiva funcional, de una cierta categorización del mundo que induce una caracterización de concretitud adecuada a la

actividad científica de que se trate. Un edificio particular es discernible e identificable sólo en la medida en que asociemos un edificio con un cierto tipo de construcciones. De la misma manera que es convencional, pero no arbitrario, si decidimos que un edificio incluye el jardín o el patio interior, o el espacio entre las paredes, pero no el subsuelo o el espacio arriba del edificio (tal y como está legislado), un fenómeno concreto no es algo dado independientemente de nuestros conceptos.²⁴ Su concreitud se da con relación al tipo de fenómeno al que lo refiramos como instanciación y depende por lo tanto de la manera como se incorpora en nuestras prácticas y modelos.

Nuestros modelos y conceptos teóricos pueden verse como la articulación de esa estructura de lo general que se construye a través de la construcción de linajes de fenómenos y que se conceptualiza por lo general en fenómenos tipo. Estos linajes constituyen una caracterización de las cosas que hay en el mundo desde la perspectiva de una cierta tradición. Esta ontología básica no es el producto de la observación sino el resultado de un proceso histórico-evolutivo a través del cual se han ido atrincherando conceptos que tienen la capacidad de predecir y explicar una gran variedad de fenómenos *porque han sido seleccionados socialmente con ese fin*. Un modelo, para ser exitoso, debe abstraer la generalidad implícita en la estructura de muchos fenómenos-tipo. Así, en la construcción de un modelo acer-

²⁴ En Hong-Kong, un apartamento de 300 metros cuadrados para alquilar o vender puede no ser del tamaño que nosotros pensaríamos. Esos 300 metros cuadrados incluyen las áreas comunes, elevadores, etc. La manera como medimos el área de un apartamento es una convención, por supuesto, pero lo importante es que es una convención con una función, no una convención arbitraria. Aunque tal vez sería difícil articular esa función, no es difícil reconocer que existe y que tiene que ver con la importancia predominante que tiene el valor del terreno en una isla densamente poblada. Seguramente una convención similar en Australia sería “impensable”.

ca de lo que está ocurriendo en una serie de experimentos, nos apoyamos en nuestras expectativas en cuanto al comportamiento, por ejemplo, de un tipo de proteínas, de un tipo de interacciones químicas y de la manera en que pueden darse ciertos tipos de reacciones en ciertas condiciones de temperatura, concentración y pH; asimismo, nos apoyamos en nuestros modelos previos sobre la reproducción de fenómenos al utilizar diferentes variantes técnicas. Este proceso permite la elaboración de predicciones y generalizaciones útiles que puedan servir como mapas del mundo, como guías para futuras exploraciones y explicaciones que, en lo posible, serán articuladas en modelos y teorías.

Así, el ajuste de nuestros modelos de fenómenos (y eventualmente de nuestras teorías), las técnicas y los fenómenos, en una palabra, “la confección” del mundo, es el resultado de un proceso evolutivo en el cual están inextricablemente integrados aspectos conceptuales y materiales de las cosas del mundo. El mundo consiste en fenómenos que nosotros hemos puesto allí, pero que no son meras invenciones o artificios de nuestra mente. El “contenido” de nuestros conceptos está imbuido tanto de conceptos como de ese mundo exterior que se resiste y evoluciona a través de nuestra búsqueda por controlarlo y predecirlo.

En un libro reciente, John McDowell nos recuerda una idea Kantiana cuando dice que “there is no ontological gap between the sort of thing one can mean, or generally, the sort of thing one can think, and the sort of thing that can be the case” (en McDowell 1994). La cita de Marx en el epígrafe, y la explicación que hemos dado en este trabajo del sentido en el que se confecciona el mundo, sugieren una variante de esa idea: no hay una brecha ontológica entre lo que podemos pensar y lo que podemos hacer.

BIBLIOGRAFÍA

- Bolton, E.T. y B.J. McCarthy, 1962, "A General Method for the Isolation of RNA Complementary to DNA", *Proc. Natl Acad. Sci. USA.*, 48, pp. 1390-1397.
- Bradie, M., 1986, "Assesing Evolutionary Epistemology", *Biology and Philosophy*, 1, pp. 401-460.
- Britten, R.J. y D.E. Kohne, 1968, "Repeated Sequences in DNA", *Science*, 161 (3841), pp. 529-540.
- Campbell, D., 1974, "Evolutionary Epistemology", en Schipp, P.A. (comp.), *The Philosophy of Karl R. Popper*, La Salle, Open Court, pp. 413-463.
- Edelman, G., 1987, *Neural Darwinism*, Basic Books, Nueva York.
- Elzen, B., 1986, "Two ultracentrifuges: A Comparative Study of the Social Construction of Artefacts", *Soc. Stud. Sci.*, vol. 16, pp. 621-662.
- Hacking, I., 1983, *Representing and Intervening*, Cambridge University Press, Cambridge (Mass.).
- , 1992, "The Self-Vindication of the Laboratory Sciences", en Pickering, A. (comp.), *Science as Practice and Culture*, The University of Chicago Press, Chicago (Ill.), pp. 29-64.
- Hall, B.D., L. Haar y K. Kleppe, 1980, "Development of the Nitrocellulose Filter Technique for RNA-DNA Hybridization", *Trends Biochem. Sci.*, 5, pp. 254-256.
- Hull, D., 1988, *Science as a Process*, The University of Chicago Press, Chicago.
- Kay, L.E., 1988, "Laboratory Technology and Biological Knowledge: The Tiselius Electrophoretic Apparatus, 1930-1945", *Hist. Phil. Life Sci.*, 10, pp. 51-72.
- Lewontin, 1970, "The Units of Selection", *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1, pp. 1-18.
- MacDowell, J., 1994, *Mind and World*, Harvard University Press, Cambridge (Mass.).
- Martínez, S.F., 1993, "Método, evolución y progreso en la ciencia". La primera parte apareció en *Crítica* 73, la segunda en *Crítica* 74.
- , 1995, "La autonomía de las tradiciones experimentales como problema epistemológico", *Crítica* 80 (agosto de 1995).

- , 1995a, “Una respuesta al desafío de Campbell”, en *Diánoia 1995. Anuario de Filosofía* (en prensa).
- Martínez, S. y L. Olivé, *Biología y conocimiento*, coedición UNAM/Paidós (en prensa).
- Marx, K., 1873 [1985], *El Capital*, Siglo XXI Editores, México.
- Nygaard, A.P. y B.D. Hall, 1963, “A Method for the Detection of RNA-DNA Complexes”, *Biochem, Biophys. Res Comm.*, 12, pp. 98–104.
- Pickering, A., 1986, *Constructing Quarks*, The University of Chicago Press, Chicago y The University of Edinburgh Press, Edinburgh.
- , 1989, “Living in the Material World”, en Gooding, D., T. Pinch y S. Schaffer (comps.), *The Uses of Experiment. Studies in the Natural Sciences*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 275–298.
- Rasmussen, N., 1993, “Making a Machine Instrumental: RCA and the Wartime Origins of Biological Electron Microscopy in America, 1940-1945”, en Wise, N. (comp.), *Visualizations in the Sciences: An Historical Approach*, Princeton University Press.
- Rheinberger, H.J., 1995, “From Microsomes to Ribosomes: ‘Strategies’ of ‘Representation’”, *Journal of the History of Biology*, 28, pp. 49–89.
- Söderqvist, T., 1994, “Darwinian Overtones: Niels K. Jerne and the Origin of the Selection Theory of Antibody Formation”, *Journal of the History of Biology*, 27 (3), pp. 481–529.
- Suárez, E., 1996, “El origen de disciplinas como integración de tradiciones científicas: el caso de la Evolución Molecular”, tesis de doctorado, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Wimsatt, W., 1981, “Robustness, Reliability and Overdetermination”, en Brewer, M. y B. Collins (comps.), *Scientific Inquiry and the Social Sciences*, San Francisco, Jossey-Bass, pp. 124–163.
- , 1986, “Forms of Aggregativity”, en A. Donagan, A.N. Perovich, Jr. y M.V. Wedin (comps.), *Human Nature and Natural Knowledge*.

Recibido: 13 de febrero de 1996

SUMMARY

In recent articles some authors (e.g. Pickering 1989, Hacking 1992) have pointed out a process of gradual *adjustment* or *tailoring* between *phenomena*, *models* and *experimental techniques*. However, the whole idea of tailoring or adjusting has been dealt with as a mere metaphor. In this paper we present an evolutionary model of phenomena and techniques which explains this gradual adjustment or tailoring as an adaptative causal process, i.e. not as a mere metaphor.

Our aim is accomplished in three steps. First, we arrive at the general conditions that changes in a population of entities with reproductive capabilities have to satisfy in order to be modelled as an evolutionary process, in a causal-explanatory sense. We show that a characterization of the class of experimental techniques (a class associated with an experimental tradition) meet these conditions, and we examine in detail how the nucleic acid hybridization techniques used in molecular biology can be modelled in the way we propose.

A second step is to show that the sort of variability that matters in evolutionary models of techniques and phenomena is *aggregative variability*, i.e. the sort of variability that can be selected. This is an important point, since most evolutionary models of technical and scientific change in the literature fail to satisfy this requirement. A common objection to evolutionary models of scientific change is that *fitness*, the central notion of evolutionary models in population biology, has no counterpart in these models. We show that our model can provide a natural concept of fitness, a concept that has a similar role to play in our model as in biological models.

Finally, as a third step, we conclude with an explanation of how the world can be said to be tailored. It is the result of an evolutionary process which incorporates inextricably related conceptual and material resources. In this sense, the world consists of phenomena that are made by us, but which are not mere inventions of our mind.